

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské  
metrologie

**Racionalizace výroby obráběné součásti na CNC řízeném  
frézovacím centru**

Rationalization of Manufacturing Machined Part on CNC Milling  
Centrer

Student:

Michal Ledvina

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jiří Hajnyš

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

## Zadání bakalářské práce

Student: **Michal Ledvina**  
Studijní program: **B2341 Strojírenství**  
Studijní obor: **2303R002 Strojírenská technologie**  
Téma: **Racionalizace výroby obráběné součásti na CNC řízeném frézovacím centru**  
**Rationalization of Manufacturing Machined Part on CNC Milling Center**

Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod.
2. Analýza současného stavu výrobního procesu v konkrétní firmě.
3. Návrh řešení dané problematiky.
4. Technicko-ekonomické zhodnocení.
5. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:

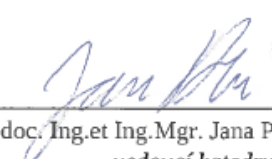
- [1] KOCMAN, K.; PROKOP, J. *Technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o. Brno, 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2.  
[2] VASILKO, K.; NOVÁK-MARCINČIN, J.; HAVRILA, M. *Výrobné inženýrstvo*. Prešov: Datapress Prešov, 2003, 424 s. ISBN 80-7099-995-0.  
[3] NESLUŠAN, M.; TUREK, S.; BRYCHTA, J.; ČEP, R.; TABAČEK, M. *Experimentální metody v treiskovom obrábání*. Žilina: EDIS Žilina, 2007, s. 343 ISBN 978-80-8070-711-8.  
[4] SADÍLEK, M. *CAM systémy v obrábění I. - II. doplněné vydání*. VŠB – TU Ostrava, 2010, 138 s., ISBN 978-80-248-2278-4.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Hajnýš**

Datum zadání: **09.12.2016**

Datum odevzdání: **15.05.2017**

  
doc. Ing.et Ing.Mgr. Jana Petrů, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty




---

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.


V Ostravě 15.5.2017

  
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 15. 5. 2017

  
.....  
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Michal Ledvina

Adresa trvalého pobytu autora práce:

1. Máje 42, Olomouc

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

LEDVINA, M. *Racionalizace výroby obráběné součásti na CNC řízeném frézovacím centru*. Bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2017, 62s. Vedoucí práce Hajnýš, J.

Bakalářská práce se zabývá optimalizací obrábění na CNC řízeném frézovacím centru DMU 60 monoBLOCK pro konkrétní součást produkovanou sériovou výrobou ve strojírenském podniku. V teoretické části práce byla provedena analýza současného stavu výroby. Dále byl proveden rozbor technologického postupu a v něm lokalizována nejvíce problematická operace. Z rozboru bylo patrné, že se jedná o operaci hrubování hluboké drážky, pro kterou byly následně navrženy 3 varianty frézovacích hlav a vyměnitelných břitových destiček. Vyhodnocená optimální varianta byla podrobena laboratornímu testování pro určení nejvhodnějších řezných podmínek. Experimentální testování bylo provedeno na CNC řízeném frézovacím centru DMG MORI DMU 50 při konstantní hloubce řezu. Byl změřen a vyhodnocen průběh opotřebení na vyměnitelných břitových destičkách a určeny nejlepší řezné podmínky. Na závěr práce byl proveden ekonomický rozbor optimalizace výroby.

## ANOTATION OF BACHELOR THESIS

LEDVINA, M. *Rationalization of Manufacturing Machined Part on CNC Milling Center*. Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering Metrology, 2015, 62p. Thesis head: Hajnýš, J.

The bachelor thesis deals with optimization of machining on a CNC controlled DMU 60 monoBLOCK milling center for a particular component produced by series production in an engineering company. In the theoretical part, the analysis of the current state of production was carried out. Furthermore, an analysis of the technological process was carried out and the most problematic operation was located there. From the analysis, it was evident that it was a deep groove roughing operation for which three variants of milling heads and indexable inserts were subsequently proposed. The evaluated optimal variant was subjected to laboratory testing to determine the most suitable cutting conditions. Experimental testing was carried out on a CNC controlled DMG MORI DMU 50 milling center at a constant cutting depth. The course of wear on indexable inserts was measured and evaluated and the best cutting conditions were determined. At the end of the thesis an economic analysis of optimization of production was carried out.

## Obsah

Úvod.....	9
1 Analýza současného stavu technologie frézování .....	10
1.1 Frézování .....	10
1.2 Rozdělení frézování .....	11
1.2.1 Válcové frézování .....	11
1.2.2 Čelní frézování .....	12
1.3 Klasifikace druhů fréz.....	13
1.4 Ekonomika výroby.....	14
1.5 CNC obrábění .....	15
1.5.1 Programování CNC strojů.....	15
1.5.2 Nulové a vztažné body na CNC strojích .....	16
1.6 Řezné materiály .....	17
1.6.1 Nástrojové oceli .....	18
1.6.2 Slinuté karbidy .....	20
1.6.3 Povlakované slinuté karbidy .....	21
1.6.4 Cermety .....	22
1.6.5 Řezná keramika .....	22
1.6.6 Supertvrde řezné materiály .....	23
1.7 Opotřebení řezných nástrojů .....	23
2 Současný stav výroby v podniku.....	27
2.1 Použitý materiál .....	28
2.2 Dělení materiálu.....	28
2.3 Kování.....	28
2.4 Otryskávání.....	29
2.5 Soustružení.....	30

2.6	Frézování a vrtání .....	32
2.7	Frézování drážky a expedice.....	35
3	Návrh na racionalizaci výroby.....	36
3.1	Volba frézovací hlavy a výměna břitových destiček .....	36
3.1.1	Řešení Pramet Tools .....	37
3.1.2	Řešení Kennametal.....	38
3.1.3	Řešení Hitachi .....	39
3.1.4	Vyhodnocení a výběr nejvhodnější aplikace.....	40
4	Experimentální činnost.....	42
4.1.1	Provedení experimentu.....	42
4.1.2	Obráběcí stroj .....	43
4.1.3	Nástrojový držák .....	44
4.1.4	Nástroj a materiál .....	44
4.1.5	Hodnocení opotřebení .....	45
4.1.6	Test č. 1 .....	46
4.1.7	Test č. 2 .....	48
4.1.8	Test č. 3 .....	51
4.2	Racionalizace zbylých operací.....	53
5	Technicko-ekonomické zhodnocení.....	54
5.1	Ekonomické zhodnocení výroby drážky.....	55
5.2	Celkové ekonomické zhodnocení optimalizace výroby .....	55
	Závěr .....	57
	Použité zdroje.....	59
	Seznam příloh.....	61

### Seznam použitých značek a symbolů:

Symbol	Popis	Jednotka
CVD	Chemické napařování z plynné fáze	[-]
$f_{ot}$	posuv na otáčku	[mm]
HSS	Rychlořezná ocel	[-]
$n$	počet otáček	[min <sup>-1</sup> ]
PKD	Polykrystalický diamant	[-]
PKNB	Polykrystalický kubický nitrid bóru	[-]
PVD	Fyzikální napařování	[-]
Q	Množství vyfrézovaného materiálu	[cm <sup>3</sup> ]
$t_{AS}$	Strojní čas	[min]
$VB_B$	opotrebení přímé části ostří	[μm]
VBD	Vyměnitelná břitová destička	[-]
$v_c$	Řezná rychlost	m.min <sup>-1</sup> ]
$v_f$	velikost posuvu	[mm.min <sup>-1</sup> ]



## Úvod

V dnešní době je stále více kladen důraz na efektivitu, rychlost a jakost výroby a je snahou dosahovat v tomto směru zlepšení. Současná situace si žádá výrobu urychlovat a tím ji zlevňovat při dodržení stejné nebo lepší kvality. Bakalářská práce pojednává o racionalizaci strojírenské součásti vyráběné v podniku UNEX a.s. Konkrétně se jedná o rozbor současného technologického postupu používaného v podniku a lokalizování nejméně efektivní operace s následnou optimalizací výroby na CNC řízeném frézovacím centru DMU 60 monoBLOCK. Optimalizovány budou všechny procesní parametry jako jsou řezné podmínky, strojní časy a nahrazení nástrojů.

Firma UNEX a.s. patří mezi tradiční české firmy. Její historie sahá do roku 1949, kdy byla založena v Uničově. Specializuje se na těžké strojírenství a metalurgii. Společnost vlastní tři pobočky a disponuje značnými výrobními kapacitami. Svým zákazníkům je schopna dodávat odlitky, výkovky a těžké svařované konstrukce od 50 g až po 120 tun. Díky špičkové kvalitě jsou výrobky ceněny i v zahraničí a 80 % výroby je dále exportováno. Tato bakalářská práce je psána ve spolupráci s pobočkou UNEX a.s. Olomouc. Jedná se o bývalou úspěšnou firmu Moravské železářny a.s., která je neoddělitelně spjata s historií olomouckého průmyslu a v dobách největší slávy zaměstnávala tisíce lidí a patřila k monopolním výrobcům fitinek v celém Československu. Její historie sahá až do roku 1907. V roce 2005 došlo k akvizici 100 % akcií společností UNEX a.s.

# 1 Analýza současného stavu technologie frézování

Frézování, ale i obrábění celkově se v dnešní době stále vyvíjí a nové technologie nabízejí využití, které slouží ke stále lepší výrobě. Především 5-osá frézovací centra nabízejí oproti konvekčním strojům mnoho způsobů použití.

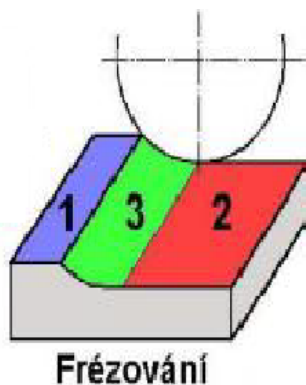
## 1.1 Frézování

Frézování patří mezi nejrozšířenější metody obrábění. Jeho předností je vysoká produktivita a kvalita obrobků ploch. Jedná se o způsob třískového obrábění, kde se materiál obrobku odebírá břity vícezubého nástroje – frézou. Fréza se při obrábění otáčí kolem své osy a koná tedy hlavní řezný pohyb. Vedlejší pohyb koná obráběná součást. Nejčastěji se jedná o přímočarý posuvný pohyb kolmý na osu nástroje. U moderních víceosých CNC obráběcích centrech se tyto posuvové pohyby mohou libovolně měnit a mohou se realizovat i v jiných směrech než jen kolmých na osu nástroje. Řezný proces je u frézování přerušovaný. Každý zub odebírá krátké třísky rozdílné tloušťky. [1] [2]

Frézování se používá k obrábění rovinných, hranolových, tvarových či rotačních ploch, ale také k výrobě drážek různých profilů, závitů i ozubení. Tato rozmanitost využití dělá z frézování velmi oblíbenou metodu výroby strojních součástí. [2]

Z geometrického hlediska je u frézování obrobek charakterizován plochami:

- **Obráběná plocha** = plocha obrobku, která je odstraňována pomocí třískového obrábění viz. obr. 1.
- **Obrobená plocha** = plocha, která se utvoří na povrchu obrobku po obrábění viz. obr. 2.
- **Přechodová plocha** = plocha vytvořená působením ostří nástroje. Jedná se o přechodovou plochu mezi obráběnou a obrobenou plochou viz. obr. 3. [3]



Obr. 1- Plochy po frézování [3]

## 1.2 Rozdělení frézování

Podle technologického hlediska se frézování dělí dle polohy osy frézy vůči obráběné ploše na:

- **válcové**-frézuje se obvodem frézy,
- **čelní**-frézuje se čelem frézy. [2]

### 1.2.1 Válcové frézování

#### Sousledné (sousměrné)

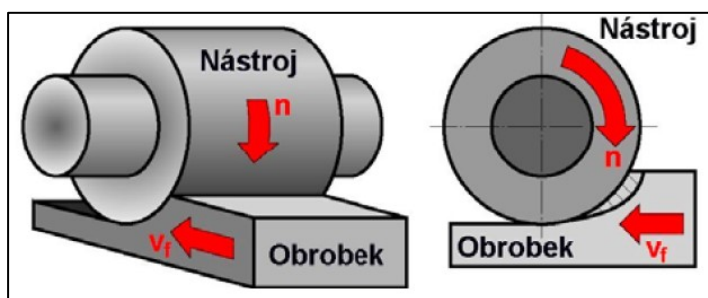
U sousledného frézování nástroj rotuje ve směru posuvu obrobku (viz. Obr. 2). Nejtlustší tříska vzniká při vnikání zubu frézy do obrobku. Mění se tedy z maximální tloušťky na minimální. Po vyjetí zubu ze záběru se tvoří obrobená plocha. Jelikož řezné síly působí směrem dolů, musí mít frézky, na kterých je sousledné frézování prováděno vymezenou vůli a předpětí mezi posuvovým šroubem a maticí stolu. [2]

#### **Výhody sousledného frézování:**

- lepší trvanlivost břitů,
- požití vyšších posuvů a řezných rychlostí,
- potřeba menšího řezného výkonu,
- nižší chvění,
- vysoká jakost obrobené plochy,
- není třeba složitých přípravků k upnutí – řezné síly působí směrem do stolu a přitlačují tak obrobek,
- nízká náchylnost k tvoření nárůstků. [2]

#### **Nevýhody sousledného frézování:**

- vyšší silová zátěž zubů,
- nehodí se k frézování tvrdých a znečištěných polotovarů. [2]



Obr. 2 - Sousledné frézování [1]

### Nesousledné (nesousměrné)

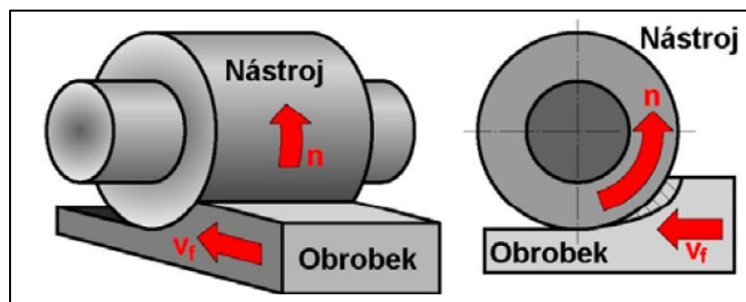
Při nesousledném frézování nástroj rotuje proti směru posuvu obrobku (viz. Obr. 3). Oproti souslednému frézování se tloušťka třísky mění z nulové tloušťky na nejtlustější. Při vniknutí frézy do materiálu se tento materiál vlivem působení břitu nejprve stlačuje. Až co tloušťka odřezávané vrstvy, dosáhne určité velikosti, dojde k oddělení třísky. Řezné síly působí směrem nahoru a tlačí obrobek směrem od stolu. [2]

#### **Výhody nesousledného frézování:**

- menší opotřebení šroubu a matice frézy,
- velikost záběru zubů frézy při zařezávání do materiálu nezávisí na hloubce řezu,
- malý vliv znečištění povrchu obrobku na trvanlivost nástroje.

#### **Nevýhody nesousledného frézování:**

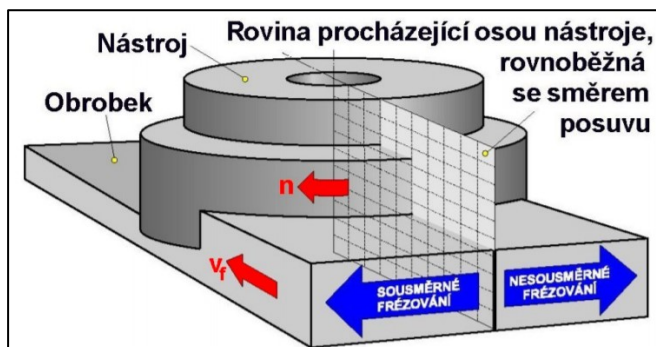
- horší kvalita obrobené plochy,
- obrobek musí být lépe upnutý – řezné síly působí nahoru. [1]



Obr. 3 - Nesousledné frézování [1]

### **1.2.2 Čelní frézování**

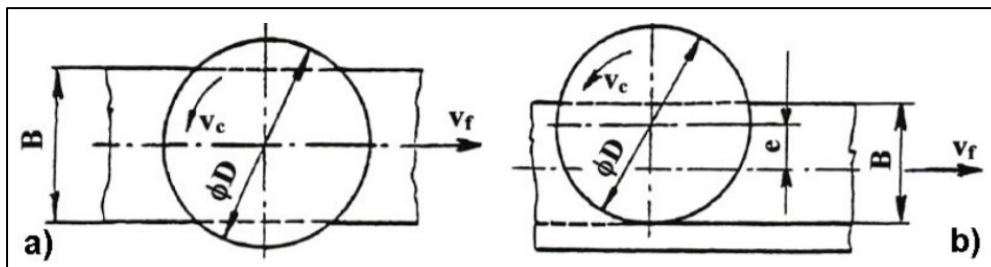
Pro čelní frézování se používají čelní frézy, které mají řezné břity po čele o obvodě nástroje. Při tomto druhu frézování nástroj pracuje sousledně (sousměrně) a zároveň i nesousledně (nesousměrně). [4]



Obr. 4 - Čelní frézování [4]

Podle osy frézy vůči frézované ploše dělíme čelní frézování na:

- a) **symetrické** – osa frézy prochází středem obráběné plochy,
- b) **nesymetrické** – osa nástroje prochází mimo střed obráběné plochy. [4]



Obr. 5 - Čelní frézování: a) symetrické; b) nesymetrické [4]

### 1.3 Klasifikace druhů fréz

Nástroje používané k frézování jsou frézy. Jedná se o vícebřité rotační nástroje, které nacházejí uplatnění v mnoha oblastech obrábění. Proto existuje velké množství těchto nástrojů, které se liší svou geometrií, použitím, počtem zubů, způsobem upínání atd. Můžeme je tedy dělit: [3]

- a) Podle ploch umístění ostří:
  - válcové, čelní, válcové čelní.
- b) Podle počtu zubů:
  - jemnozubé, polo-hrubozubé, hrubozubé.
- c) Podle směru zubů:
  - s přímými zuby, se zuby ve šroubovici.
- d) Podle druhu konstrukce:
  - celistvé, s vyloženými zuby, s vyměnitelnými břitovými destičkami.
- e) Podle metody upínání:
  - nástrčné, stopkové (s válcovou/kuželovou stopkou).
- f) Podle tvaru funkční části:
  - válcové, kotoučové, úhlové, drážkovací, kopírovací, radiusové.
- g) Podle materiálu nástroje:
  - rychlořezné oceli, slinuté karbidy, cermety, řezná keramika, PKD a PKNB. [3]

## 1.4 Ekonomika výroby

Ve strojírenské výrobě se téměř vždy objevují situace, které je možné optimalizovat. Primárním cílem optimalizace je dosažení, co nejlepší hospodárnosti a efektivity výroby. [9] Dalšími stěžejními cíli optimalizace jsou dosažení, co nejnižších výrobních nákladů, zlepšení jakosti výrobků, výkonnosti nástrojů a strojů, koordinování výměny nástrojů, větší předvídatelnost výrobního procesu, univerzálnost nástrojů, zamezení chybovosti a vzniku vad atd. [9]

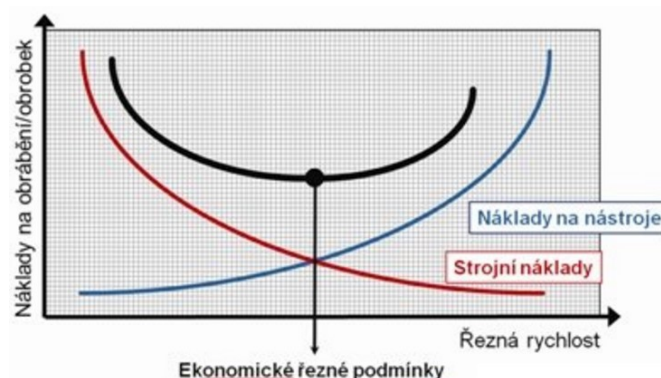
Zlepšením těchto procesů dosáhneme větších zisků, maximální produkce a bezpečnosti a zároveň co nejnižších nákladů. [9]



Obr. 6 - Ekonomika výroby – náklady [9]

Zásady optimalizace:

- volit nejvhodnější pracovní podmínky = Stroje, držáky nástrojů, chlazení atd.,
- volit nástroj, který se k dané operaci nejvíce hodí = univerzální, nejvýkonnější, bezpečný atd.,
- pro každou operaci volit nejvyšší možný posuv a hloubku řezu,
- ověřit zvolený posuv a hloubku řezu z hlediska bezpečnosti, vibrací, upnutí a stability obrábění, deformačních účinků na obrobek atd.,
- rozhodnout, zda je cílem optimalizace dosáhnout co nejmenších nákladů nebo nejvyšší možné produktivity,
- podle předchozího bodu upravit řeznou rychlost. Nejvhodnější je dosáhnout kombinace optimální řezné rychlosti a nákladů na obrábění. Viz. Obrázek: [9]



Obr. 7 - Optimalizace minimálních nákladů [9]

## 1.5 CNC obrábění

CNC (Computer Numerical Control) = počítačem číslicově řízené stroje lze chápat jako zařízení, která jsou charakterizována tím, že všechny pracovní a pomocné funkce stroje jsou prováděny řídicím systémem pomocí vytvořeného programu. Program je tvořen alfanumerickými znaky, které jsou logicky řazeny do skupin znaků, jež se nazývají bloky a věty. Tyto programy zajišťují řízení stroje a tím výrobu součástí. [10]

CNC stroje jsou „pružné“ = dají se snadno a rychle přizpůsobit podobnému sortimentu výrobků. Pracují v automatizovaných cyklech, které jsou zajištěny počítačově – číslicovým řízením. Tyto stroje mají ve strojírenské výrobě široké uplatnění. Používají se v nepřeborném množství oborů jako je obrábění, tváření, montáž či měření. [10]

Za hlavní výhody těchto strojů lze považovat vysokou jakost obrobků, lepší produktivitu a hospodárnost, předvídatelnost procesu, protože strojní čas je předem dán a není závislý na rychlosti obsluhy stroje. Lze rychle měnit výrobní programy a vyrábět tvarově složité výrobky. Mezi nevýhody patří vysoká cena strojů, vyšší požadavky na údržbu a potřeba kvalitních pracovníků schopných s těmito stroji pracovat. [11]

### 1.5.1 Programování CNC strojů

Program pro CNC stroje obsahuje následující informace:

- Geometrické – Jde o popis drah nástrojů, které jsou dány rozměry obrobku v kartézském souřadném systému. Dále popisují příjezdy a odjezdy nástrojů k obrobku. V NC programech se tyto dráhy popisují v osách X, Z u soustružení, u frézování v osách X, Y, Z. U víceosých frézovacích centrech i v některých dalších osách.
- Technologické – Tyto informace stanovují řezné podmínky stroje = řeznou rychlost, rychlost posuvu, otáčky, hloubku řezu.

- Pomocné – Jedná se o doplňkové (pomocné) informace jako je zapnutí čerpadla, chladicí kapaliny, směr otáčení vřetene, vypnutí stroje atd. [10]

Vytvoření programů je možné následujícími způsoby:

- Online – k programování NC programu dochází přímo na stroji.
- Offline – NC program je vytvořen mimo stroj pomocí ISO/DIN kódů nebo pomocí CAM systémů: [13]

### **Ruční programování:**

V dnešní době se k ručnímu programování používají hlavně ISO kódy (G kódy). Při tomto druhu programování programátor „ručně“ a v posloupnosti přesně tak, jak probíhá výroba, sestavuje příslušné věty a bloky s ISO kódy, kterými dává pokyny stroji a tím jej řídí. Je vhodné takto psané kódy odsimulovat a odladit ve vhodném programu na PC. Program se do stroje nahrává pomocí přenosných zařízení nebo síťově. Ruční programování má 3 základní fáze a to: přípravnou, realizační a kontrolní. [11]

### **Programování pomocí CAD/CAM systémů:**

Probíhá v příslušných CAD/CAM programech. Do CAD programu se nahraje (případně vymodeluje) model vyráběné součásti a pomocí vytvoření a nasimulování drah nástrojů se automaticky vygenerují ISO kódy, které tedy třeba programovat „ručně“. [11]

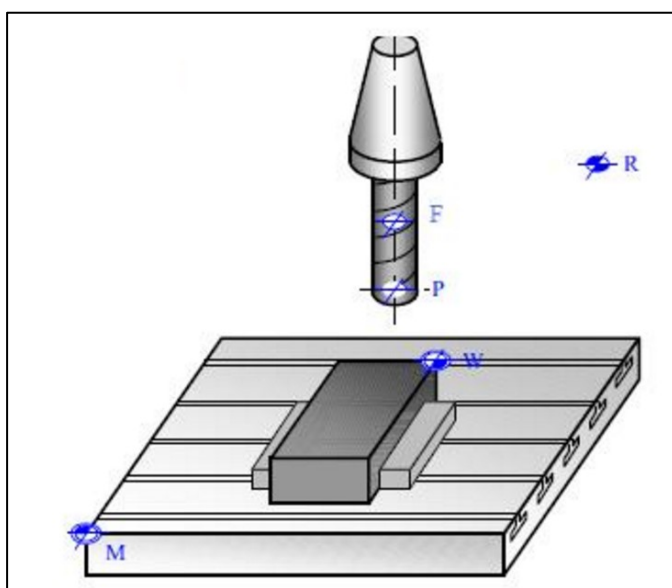
Hlavní uplatnění CAD/CAM systémů je v oblasti tvarově složitých součástí jako jsou zápustky nebo formy. Mezi jejich další velké výhody patří zrychlení tvorby NC programů a možnost komplexního přístupu ke konstruování, výrobě, testování a korigování chyb výrobků a optimalizace drah nástrojů. [13]

## **1.5.2 Nulové a vztažné body na CNC strojích**

Po zapnutí CNC stroje se spustí jeho řídicí systém a tím aktivuje i souřadnicový systém. Každý stroj má pevně stanovený nulový bod a další body, které jsou důležité pro správný běh výrobního procesu. Jedná se o následující body: [13]



- M = nulový bod stroje – Je to absolutní počátek souřadného systému pracovního prostoru stroje. Nelze ho měnit a je pevně určen výrobcem stroje. [13]
- W = nulový bod obrobku – Jedná se o počátek souřadného systému obrobku. Je volitelný a umisťuje se na vhodné místo tak, aby usnadňoval práci při programování a minimalizoval vznik chyb. Vhodným místem pro tento bod může být základna, z které je součást kótována nebo osa souměrnosti na horní ploše obrobku. [13]
- R = referenční bod stroje – Je stanoven výrobcem obráběcích strojů. Jedná se o maximální možnou vzdálenost od nulového bodu. Je dán koncovými spínači v jednotlivých osách. Slouží k přesnému nastavení souřadnicového systému obráběcího stroje. [13]
- P = bod špičky nástroje – Je potřebný ke stanovení délkové a rádiusové korekce nástroje. U soustružení se nachází na teoretické špičce nástroje, u frézování v ose nástroje na jeho čelní ploše. [13]
- F = vztažný bod suportu nebo nástroje – Je to bod na dosedací ploše obráběcího nástroje. K tomuto bodu se vztahují délkové korekce nástroje. [13]
- E = bod nastavení stroje – Bod držáku nástroje, který je při upnutí totožný s bodem F. Slouží k zajištění korekcí nástroje na přístroji mimo stroj. [13]



Obr. 8 - Umístění bodů při CNC frézování [14]

## 1.6 Řezné materiály

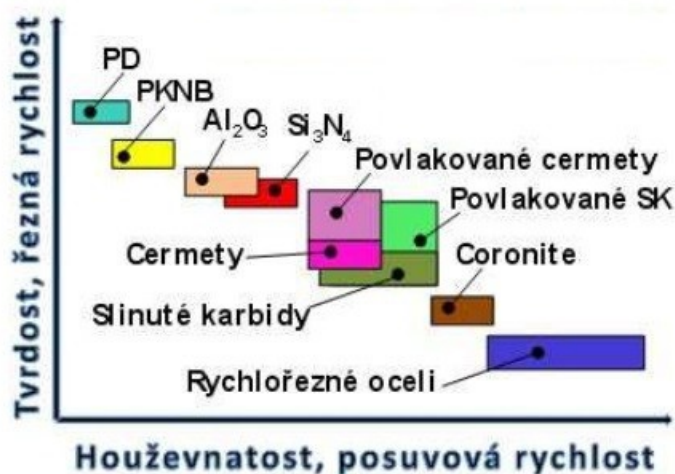
V průmyslové výrobě po celém světě se vyrábějí strojní součásti z rozdílných materiálů (oceli, slitiny, nekovové materiály, kompozity atd.) za použití různých metod třískového obrábění. Tyto rozdíly kladou různé požadavky na vlastnosti řezných nástrojů, jako jsou

houževnatost a vysoká tvrdost v oblasti ostří, která nesmí příliš poklesnout ani v případě vysokých pracovních teplot. [15]

Produktivita obrábění je úzce spjata s druhem zvoleného řezného materiálu. V důsledku intenzivního výzkumu je na výběr ze široké škály materiálů řezných nástrojů. Od nástrojových ocelí, přes slinuté karbidy (v dnešní době nejpoužívanější) až po přírodní nebo syntetické diamanty. [16]

Každý materiál řezných nástrojů je vhodný pro jiný druh použití. Neexistuje žádný univerzální materiál. Požadavky kladené na tyto nástroje (materiál, geometrii, rozměry atd.) musí splňovat přísné, často protichůdné požadavky. Jejich výběr záleží na: [16]

- tvaru a rozměrech obrobku, materiálu, typu obrábění,
- technologii výroby polotovaru, kvalitě povrchu,
- typu obráběcího stroje, jeho stavu, náročnosti na provoz,
- druhu řezu (přerušovaný/plynulý), podmínkách chlazení a mazání,
- ceně řezného materiálu a jeho trvanlivosti,
- fyzikální a chemické odolnosti proti opotřebení,
- požadavcích na jakost obrobených ploch,
- požadavcích na bezpečnost, spolehlivost a ekologii procesu obrábění. [16]



Obr. 9 - přehled nástrojových materiálů a jejich vlastností [17]

### 1.6.1 Nástrojové oceli

Podle chemického složení nástrojové oceli dělíme na:

**Uhlíkové nástrojové oceli** – Jejich výroba probíhá rychlým ochlazením (kalením) za austenizačních teplot a tím se dosahuje jejich výsledné martenzitické struktury. Tato struktura zaručuje jejich vysokou tvrdost a pevnost v tahu. [16]

Největší vliv na jejich vlastnosti má uhlík. Mezi nevýhody těchto ocelí patří jejich malá prokalitelnost (8-50 mm), oduhličení a oxidace povrchových vrstev a především rychlá ztráta řezivosti při teplotách nad 200°C. Proto se tyto oceli používají převážně pro výrobu ručního nářadí. [16]

**Legované nástrojové oceli** – Obsahují převážně karbidotvorné legující prvky jako Cr, V, W, Mo, které tvoří tvrdou strukturu těchto nástrojů. Ale i prvky netvořící karbidickou strukturu – Ni, Si, Co. Tyto nástroje jsou kalené až do tloušťky 130-150 mm. Uplatnění nacházejí jako strojní nástroje pro nízké řezné rychlosti. [2] [16]

**Rychlořezné nástrojové oceli** – Obsahují více než 30 % legujících prvků. Tvrdou fázi tvoří karbidotvorné prvky stejně jako u jiných legovaných ocelí (W, Cr, V, Mo). Dále obsahují nekarbidotvorný Co. Uhlíku obsahují méně než 1 %. [2]

Díky svým vlastnostem (střední odolnost proti opotřebení a vysoká lomová houževnatost) jsou vhodné pro tvarové nástroje jako závitníky, výstružníky, vrtáky či menší frézy. Důležitou součástí obrábění HSS nástroji je použití vhodného řezného prostředí = emulzí a olejů. [2]

Mezi nejnovější trendy ve výrobě HSS patří výroba práškovou metalurgií. Tato metoda způsobuje velmi jemnou strukturu a rovnoměrné rozložení karbidů a vměsků. Tím se zlepšují řezné vlastnosti a umožňují vyrábět oceli s větším obsahem legur. [2]

Tab. 1 - Přehled nástrojových ocelí [16]

Nástrojové oceli	Nelegované (uhlíkové)	Legované	rychlořezné
Označení dle ČSN	19 0xx-19 2xx	19 3xx – 19 7xx	19 8xx
Obsah uhlíku (%)	0,3-1,4	0,8-1,2	0,7-1,3
Obsah legur (%)	Do 1%	10-15	Více než 30%
Legury	Mn, Cr, Si	Cr, W, Mo, V, Mn, Si, Ni	W, Mo, Cr, V, Co
Kalicí prostředí	Voda	Olej	Solná lázeň, vzduch, vakuum (i tekutý dusík)
Dosažitelná tvrdost (HRC)	62-64	66	64-68

Typické aplikace	ruční nářadí – čepele, sekáče, pilníky, pilky na kov	strojní nářadí pro nízké řezné rychlosti (do 25 m/min) – vrtáky, frézy, revolverové nože, protahovací trny	strojní nástroje pro řezné rychlosti (do 40 m/min) – vrtáky frézy, výhrubníky, výstružník, závitníky
------------------	---	--	---

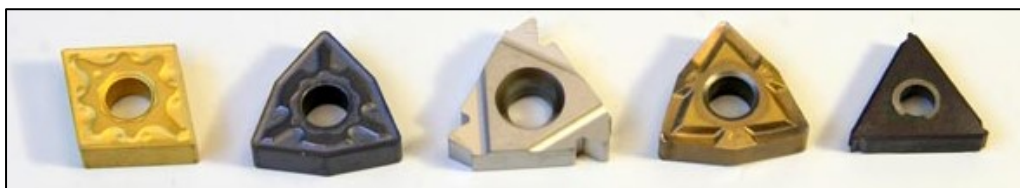
### 1.6.2 Slinuté karbidy

V dnešní době jsou slinuté karbidy nejpoužívanějším materiálem pro řezné nástroje. Díky jejich mechanickým vlastnostem, především tvrdosti, otěruvzdornosti, pevnosti v ohybu či v tlaku a houževnatosti nacházejí uplatnění v širokém spektru využití. V dnešní době zejména ve formě VBD. [15]

Jsou vyráběny metodou, která se nazývá prášková metalurgie. Jedná se o drcení a míchání směsí karbidů kovů a jejich pojiva. Tvrdou fázi SK tvoří karbidy kovů, především Wolframu (WC), ale i dalších jako např. TiC, TaC, TaC, NbC. Jako pojivo se používá především Kobalt (Co). Tyto směsi jsou následně lisovány a poté slinovány za teploty blízké teplotě tavení pojiva. [15]

Na požadovaný tvar jsou SK kvůli jejich tvrdosti upravovány pouze broušením, elektroerozivním obráběním a lapováním. [2]

Většina nástrojů ze SK se vyrábí ve formě normalizovaných břitových destiček. Tyto destičky jsou upínány na řeznou část nástroje. To je provedeno pájením nebo v současné době nejrozšířenějším – mechanickým upínáním. [2]



Obr. 10 - Výměnné břitové destičky [18]

Podle normy ČSN ISO se nepovlakované SK dělí podle použití do 6 skupin (P, M, K, N, S, H) a do podskupin, kde s rostoucím číslem podskupiny roste obsah pojícího kovu a tím i jeho houževnatost a pevnost v ohybu. Nevýhodou je, že zároveň klesá otěruvzdornost a tvrdost. To znamená, že s vyšším číslem podskupiny je doporučována nižší řezná rychlost, ale vyšší posuv a průřez odebírané třísky. [15]

Tab. 2 - Rozdělení a složení SK [17]

Skupina	Podskupiny	Základní chemické složení	Efektivní aplikace pro obráběný materiál
<b>P</b>	P01, P05, P10, P15, P20, P25, P30, P35, P40, P45, P50	WC (30÷82)% +TiC (8÷64)% +Co (5÷17)% + (TaC.NbC)	Slinuté karbidy pro obrábění materiálů, dávající dlouhou, plynulou třísku: Nelegovaná, nízkolegovaná a vysoce legovaná ocel, litá ocel, automátová ocel, nástrojová ocel, feritická a martenzitická korozivzdorná ocel.
<b>M</b>	M01, M05, M10, M15, M20, M25, M30, M35, M40	WC (79÷84)% +TiC (5÷10)% +TaC.NbC (4÷7)% +Co (6÷15)%	Slinuté karbidy pro obrábění materiálů, dávající dlouhou a střední třísku: Austenitická a feriticko austenitická ocel, korozivzdorná, žáruvzdorná, žárovevná, nemagnetická a otěruvzdorná ocel.
<b>K</b>	K01, K05, K10, K15, K20, K25, K30, K35, K40	WC (87÷92)% +Co (4÷12)% + (TaC.NbC)	Slinuté karbidy pro obrábění materiálů, dávající krátkou, drobnou třísku: Nelegovaná i legovaná šedá litina, tvárná litina, temperovaná litina.
<b>N</b>	N01, N05, N10, N15, N20, N25, N30		Slinuté karbidy pro obrábění neželezných materiálů: Slitiny mědi a hliníku, duroplasty, fibry, plasty s vlákninou, tvrdá guma.
<b>S</b>	S01, S05, S10, S15, S20, S25, S30		Slinuté karbidy pro obrábění: Žáruvzdorné slitiny na bázi Fe, superslitiny na bázi Ni nebo Co, Titanu, Ti slitiny.
<b>H</b>	H01, H05, H10, H15, H20, H25, H30		Slinuté karbidy pro obrábění: Zušlechťené oceli s pevností nad 1500 MPa, kalené oceli HRC 48÷60, tvrzené kokilové litiny HSh 55÷58

### 1.6.3 Povlakované slinuté karbidy

Vlivem dalšího vývoje řezných materiálů se došlo k tomu, že nejlepší by byla taková břitová destička, která by měla tvrdý a otěruvzdorný povrch a zároveň houževnaté jádro. Tohoto předpokladu docílíme povlakováním SK tvrdými povlaky karbidu či nitridu titanu (TiC, TiN) nebo oxidu hlinitého ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). [2]

Metody, které jsou používány k povlakování SK jsou PVD (naprašování, napařování) nebo CVD (laserem indukovaná CVD metoda, CVD se žhavicím vláknem atd.). Povlaky mohou být jedno nebo vícevrstvé s použitím jednoho nebo více prvků. [15] [2]

**Jednovrstvé povlaky** – Obsahují povrchovou fázi vytvořenou z TiN, TiCN, TiN o tloušťce až 13  $\mu\text{m}$ . [2]

**Vícevrstvé povlaky** – skládají se ze dvou či více vrstev. Na povrch SK se nejprve nanese vrstva, které má k podkladovému povrchu dobrou přilnavost. Jako poslední se nanese vrstva, která má vysokou tvrdost a odolnost proti opotřebení. Jedná se např. o systém povlaků TiC – TiNC – TiN (od podkladu k povrchu). [2]

#### 1.6.4 Cermety

Jejich název vznikl spojením slov **CER**amics (keramika) a **MET**al (kov), protože ideálním Cermetem by měl být materiál, který by kombinoval houževnatost kovů a tvrdost keramických materiálů. Skutečné mechanické vlastnosti se od tohoto ideálu samozřejmě liší. [15]

Jedná se o slinuté materiály, kde hlavní tvrdou fází netvoří karbid wolframu jako u SK, ale převážně TiC, TiN, TiNC, Mo<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nebo jejich kombinace, nikoliv karbid wolframu (WC). Pojivem je zde hlavně nikl (Ni). Jsou používány především v Japonsku. [15]

Větší obsah titanu způsobuje velmi tvrdou strukturu odolnou proti deformacím. Výhodou je i nižší odolnost proti teplotním šokům. Nedosahují však takové houževnatosti a pevnosti jako SK. [2]

Používají se k obrábění ocelí, litin, neželezných kovů i snadno obrobitelných slitin. Především pro dokončovací operace, protože mohou pracovat při větší řezné rychlosti ( $v_c =$  až 360 m.min<sup>-1</sup>). [2]

#### 1.6.5 Řezná keramika

Je charakterizována jako krystalický materiál, kde hlavní složku tvoří anorganické sloučeniny nekovového charakteru. Neobsahují žádné pojivo jako SK nebo cermety. Nástroje z řezné keramiky jsou vyráběny z čistých syntetických surovin ve formě VBD. Velikost zrna bývá pod 1 μm. [15]

Vyznačují se vlastnostmi jako je vysoká tvrdost, odolnost proti plastické deformaci, pevnost v tlaku, odolnost proti působení vysokých teplot, chemická stálost či vysoká trvanlivost a řezivost. Jsou vhodné pro obrábění téměř všech materiálů na bázi železa i za přerušovaného řezu. [15]

Dělí se na:

- na bázi oxidu hlinitého (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)
- čistá (čistý Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>),
- polosměsná (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ZrO),
- směsná (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+TiC),
- na bázi nitridu křemíku (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>),

- vyztužená (oxidická nebo nitridová keramika vyztužená pomocí whiskerů SiC nebo  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ). [4]

### 1.6.6 Supertvrde řezné materiály

Pod tímto označením rozumíme synteticky vyrobené materiály. Jedná se o polykrystalický kubický nitrid boru (PKNB) a polykrystalický diamant (PKD). Tyto materiály dosahují velmi dobrých mechanických vlastností, zejména tvrdosti, pevnosti v tahu/tlaku a ořezuvzdornosti a dalece převyšují ostatní používané řezné materiály. [15]

**Polykrystalický kubický nitrid boru** se v přírodní formě nevyskytuje, a proto se synteticky vyrábí z boru a dusíku. Bor je polokovový materiál, který se vyznačuje vysokou teplotou tání i tavení. Z toho u těchto řezných nástrojů plyne jejich vysoká chemická stálost a tvrdost za vysokých teplot (do 2000 °C). PKNB se používá k obrábění tvrdých a žárupevných materiálů, kalených ocelí, tvrdých litin nebo kobaltových a niklových slitin. [15] [2]

**Polykrystalický diamant (PKD)** je vyroben slinováním jemných krystalů diamantu za vysokých teplot a tlaků. Dosahuje skoro stejné tvrdosti jako skutečný diamant. Mezi jeho další výhody patří velmi dobrá odolnost proti abrazivnímu opotřebení. Nevýhodou je křehkost, afinitu k železným kovům a nízká pracovní teplota (do 650 °C). Využití nachází v obrábění všech neželezných materiálů jako je sklolaminát, tvrdý kaučuk, sklo, grafit nebo i kovových materiálů – hliníku, mědi, titanu nebo jejich slitin. [15] [2]

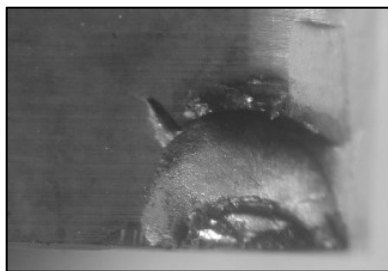
### 1.7 Opotřebení řezných nástrojů

Běžným negativním jevem při obrábění je vznik opotřebení řezných nástrojů. Vzniká, protože při řezném procesu dochází k pohybu nástroj-obrobek a nástroj-tríska a tím ke kontaktu nástroje s obrobkem na hlavním a vedlejším hřbetě a špičce nástroje. Dále dochází ke kontaktu odcházející třísky s čelem nástroje. Při těchto procesech dochází k tření a tím k růstu teploty, což přirozeně vede k opotřebování nástrojů. Jedná se o velice složitý děj, který závisí na mnoha faktorech jako jsou fyzikální a mechanické vlastnosti obráběného a nástrojového materiálu, typu obrábění, řezných podmínkách, geometrii nástroje atd.

K základním mechanismům opotřebení patří: [16]

- 1) **křehký lom břitu** – Je způsoben vysokým mechanickým zatížením nebo krátkodobým přetížením břitu, které je způsobeno nárazem břitu nástroje do tvrdé

fáze materiálu tvořené vměšky, při přerušovaném řezu nebo náhlé změně průřezu třísky. [16]



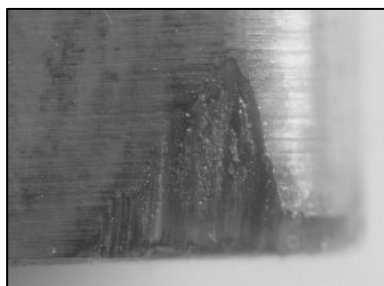
Obr. 11 - Křehký lom břitu [3]

- 2) **plastická deformace** – Vzniká působením vysokého tepelného a mechanického zatížení. V některých případech se objevuje i ve formě tzv. lavinových opotřebení. Vzniká odpevněním substrátu (např. Martenzitu v HSS) nebo deformací pojíva (např. Co/Ni u slinutých karbidů) [16]



Obr. 12 - Plastická deformace [3]

- 3) **Opotřebení na hřbetu** – Jedná se o abrazivní formu opotřebení, ke kterému dochází na hřbetní ploše břitu. Je to obvyklé opotřebení, kterému nelze zcela zabránit a snahou je spíše dosáhnout jeho rovnoměrnosti. Způsobuje zhoršení jakosti obrobenej plochy a nepřesnosti rozměrů.

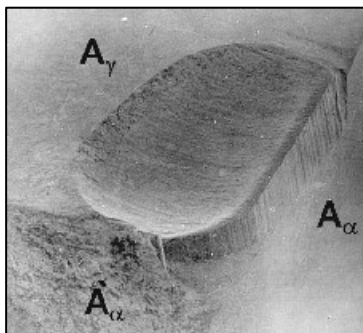


Obr. 13 - Opotřebení hřbetu [3]

- 4) **Opotřebení ve tvaru žlábků** – Je formou opotřebení na čele nástroje a vzniká působením abrazivních a difuzních mechanismů v místě břitu s nejvyšší teplotou = v kontaktním místě mezi třískou a materiálem břitu. Pokud je toto opotřebení příliš

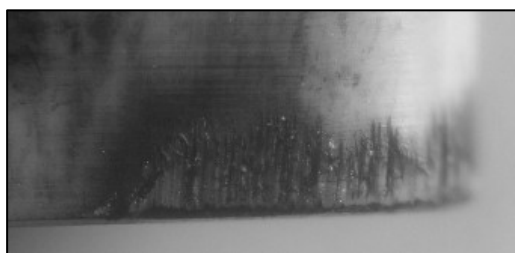


velké, dochází ke změně geometrie břitu. Tím k jeho zeslabení a ovlivnění tvaru třísky.



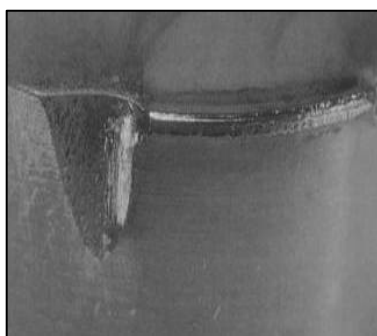
Obr. 14 - Opotřebení ve tvaru žlábků [3]

- 5) **Vydrolení ostří** – Břit se místo rovnoměrného opotřebení vydroluje. Je to způsobeno špičkami zatížení a vede k tomu, že se malé částice materiálu rezného nástroje začnou oddělovat z povrchu břitu. Za příčiny tohoto opotřebení lze považovat nevhodný materiál nástrojů nebo nevhodnou volbu ostří.



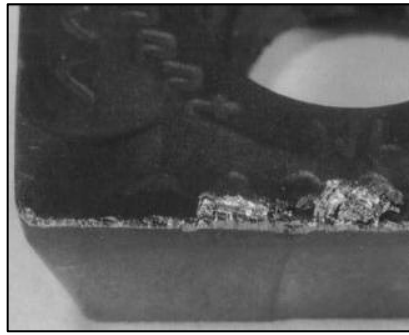
Obr. 15 - Vydrolení ostří [3]

- 6) **Opotřebení ve tvaru vrubu** – Vzniká na vedlejším nebo hlavním hřbetu. Vruby vznikají v místě kontaktu břitu s bokem třísky. Jedná se o adhezni či oxidační opotřebení.



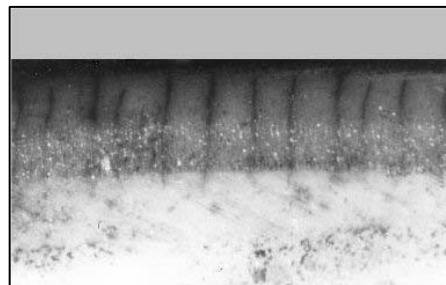
Obr. 16 - Opotřebení ve tvaru vrubu na hlavním hřbetu [3]

- 7) **Tvorba nárůstků** – Jo to druh opotřebení, při kterém se obráběný materiál nalepuje (navaruje) na břit nástroje. Při pokusu o jeho odstranění může docházet k porušení nástroje. Výrazně zhoršuje kvalitu obráběného povrchu.



Obr. 17 - Tvorba nárůstků [3]

- 8) **Hřebenové trhliny** – Jedná se o únavové opotřebení na ostří nástroje, které vzniká tepelným šokem. Často vzniká při změnách teplot u frézování. Trhliny se tvoří kolmo na ostří. Částice řezného materiálu se mohou mezi trhlinami vylamovat a způsobit lom břitu.



Obr. 18 - Hřebenové trhliny [3]

- 9) **Lom břitu** – Představuje úplný konec trvanlivosti nástroje. Jedná se o nebezpečný jev a mělo by se mu snažit zabránit, protože může způsobit značné škody. Může být vyvolán různými faktory. Např. nedostatečnou houževnatostí používaného nástroje.

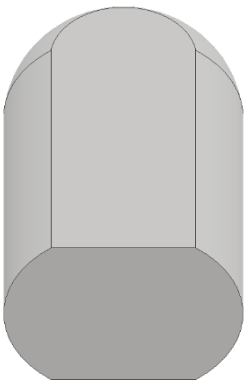

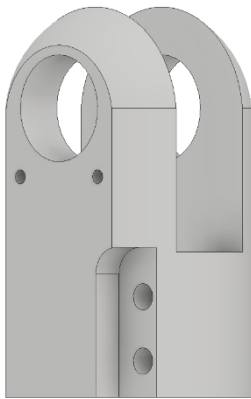
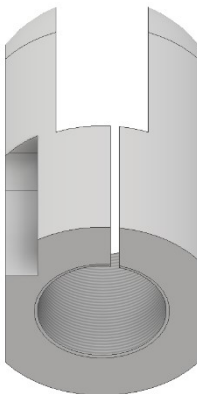
## 2 Současný stav výroby v podniku

V následujícím textu bude popsán celý proces výroby od nařezání polotovarů materiálu až k úplnému dokončení výrobku. Tato práce se zabývá racionalizací obrábění konkrétně frézováním, a proto tato část bude rozebrána podrobněji.

Tab. 3 – Seznam operací výroby

Č. op.	Popis operace
1.	Dělení materiálu.
2.	Lisování – zápustkové kování.
3.	Otryskání.
4.	Mezioperační kontrola + převoz na obrobnu.
5.	Soustružení.
6.	Frézování + vrtání.
7.	Frézování drážky.
8.	Konzervace a balení.

Tab. 4 – Vizualizace výrobku v programovém řešení Autodesk Inventor Professional 2017.

Druh operace			
Kování	Soustružení	Frézování + vrtání	Frézování drážky
			

## 2.1 Použitý materiál

Strojní součást vyráběná v podniku Unex a.s., kterou se zabývá tato bakalářská práce je zhotovena z materiálu ČSN EN 1025-2 S355J2 o rozměru  $\varnothing 100 \times 215$ . Jedná se o nelegovanou jakostní ocel. Je vhodná ke svařování všemi obvykle používanými metodami. Typickým projevem nežádoucího jevu je náchylnost ke studeným trhlinám, toto riziko se s rostoucí tloušťkou zvyšuje. Chemické složení, značení a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v následujících tabulkách. [21]

Tab. 5 – Varianty značení oceli. [21]

Označení dle ČSN EN 1025-2: 2005		Odpovídající dřívější označení		
		Německo Dle DIN 17100	Česká Republika Dle ČSN 42 0002	Dle EN 10025:1990+ A1: 1993)
S355J2	1.0577	St 52-3 N	11 503	S355J2G4

Tab. 6 – Chemické složení oceli. [21]

Ocel	C [%]	Mn max. [%]	Si max. [%]	P max. [%]	S max. [%]
S355J2	0,24	1,7	0,6	0,035	0,035

Tab. 7 – Mechanické vlastnosti oceli. [21]

Ocel	Re min [Mpa]	Rm [Mpa]	A [%]	Kv [J] při -20 °C
S355J2	295	450-600	18	27

## 2.2 Dělení materiálu

Válcovaný kruhový polotovár se nahřeje na teplotu 225-320 °C. Na nůžkách PELS 1000 se poté dělí na předepsaný rozměr  $\varnothing 100 \times 215$  mm o váze 13,3 kg. Tolerance hmotnosti jsou + 0,3 kg a - 0,1 kg. Tuto hmotnost je nutné kontrolovat. Dále je nutné provést kontrolu výchozího polotovaru na jeho chemické složení.

## 2.3 Kování

Polotovary nastříhané na dané rozměry ohřejeme v indukční peci na 1180 °C. Po ohřevu na tuto teplotu je kovář umísťuje do zápustky na lise LZK 4000 značky Šmeral Brno. Toto zápustkové kování má několik operací. Jejich sled je následující: Pěchování + zploštění, předkování, kování „na hotovo“, vyrazení loga MZ + indexu tavby a poslední operací je ostříhnutí výronku. Po ostřížení výronku, výkovky ukládat na ochlazovací dopravník.

V případě, že se tloušťka výkovku, která je 90 mm měří ještě za tepla ihned po odstrižení výronku, je nutné počítat se smrštěním o cca 1,1 mm.



Obr. 19 - Výkovek dané součásti

## 2.4 Otryskávání

Po zápusťkovém kování je nutno výkovky otryskat. Důvodem je odstranění okují, které vznikají při tepelném tváření vlivem atmosférického kyslíku.

Jako další krok následuje vizuální kontrola na trhliny, přeložky a přesazení po otryskání. Jelikož se ve firmě Unex a.s. nenachází kovárna a obrobna ve stejné výrobní budově, je nutné výkovky balit do Hitachi boxů a převést na obrobnu.



Obr. 20 - Otryskané výkovky připravené k převozu na obrobnu

## 2.5 Soustružení

První operací prováděnou na obrobku je soustružení. Tato operace je realizována na soustruhu SPT 32 řízeném systémem Fanuc. Obrobek je upnut do čelistí a postupně osoustružen.

Nejprve je z čela odebráno 5 mm na požadovanou délku obrobku 186,5 mm. Následně je vyvrtán a vysoustružen otvor pro závit M60 × 2, vysoustružen úkos pod úhlem 15° a na konec vyřezán samotný závit M60 × 2. Po dokončení všech operací je ještě nutné očištění, odjehlení a kontrola rozměrů. Upřesnění operací soustružení je v následující tabulce. Celkový strojní čas obrábění je 4,8 min + 1 min na výměnu obrobků.

Tab. 8 – Postup pro operaci soustružení na SPT 32.

č. op.	popis operace		řezné podmínky		
	nástroj	t <sub>AS</sub> [min]	v <sub>c</sub> [m.min <sup>-1</sup> ]	n [min <sup>-1</sup> ]	f <sub>ot</sub> [mm]
1	zarovnat čelo na délku 187 mm (hrubování)				
	vnější hrubovací nůž	1,63	200	563	0,38
2	zarovnat čelo na délku 186,5 mm (dokončení)				
	vnější dokončovací nůž	0,67	300	845	0,18
3	vrtat díru pro závit M60 do hloubky 68 mm				
	vrták Ø48	0,37	118	780	0,12
4	soustružit díru otvor na Ø 53,5 (hrubování) do hloubky 65 mm				
	vnitřní hrubovací nůž	0,45	160	952	0,35
5	soustružit díru otvor na Ø 54,5 (dokončení) do hloubky 65 mm				
	vnitřní dokončovací nůž	0,62	200	1169	0,25
6	soustružit úkos 15° na Ø63				
	vnější dokončovací nůž	0,53	220	1112	0,25
7	řezat závit M60x2 do hloubky 65 mm				
	vnitřní závitový nůž	0,52	150	636	2
8	Upnutí/odepnutí obrobku				
	Ruční manipulace	1			

Tab. 9 - Parametry soustruhu SPT 32 CNC

Parametr	Hodnota
max. průměr obrobku	320 mm
max. délka obrobku	1500 mm
max. hmotnost obrobku	500 mm
Max. otáčky	1120 min <sup>-1</sup>
max. krouticí moment vřetene	1250 N.m
výkon motoru	36 kW
rychloposuv v ose X	5500 m.min <sup>-1</sup>
rozsah posuvů	5-1000 m.min <sup>-1</sup>
počet poloh (nástrojů)	6+4
Řídicí systém	Fanuc



Obr. 21 - Soustruh SPT 32

## 2.6 Frézování a vrtání

Jakmile je součást osoustružena, je připravená pro následující operace na obrobě frézování a vrtání na 5-ti osém obráběcím frézovacím centru DMU 60 monoBLOCK od firmy Deckel Maho. Obrobek je upnutý do speciálního přípravku, aby jej bylo možné opracovat pouze na jedno upnutí a tím bylo dosaženo nižšího času výroby.



Obr. 22 - Obrobek upnutí ve speciálním přípravku na stroji DMU 60 mono BLOCK

Úvodní operací je frézování drážky  $27,4 \times 70$  mm do hloubky 15 mm rohovou frézou o  $\varnothing 20$  mm. Poté vrtání dvou otvorů  $\varnothing 6,8$  pro závit M8 a následné vyvrtání závitů. Ve vyfrézované drážce  $27,4 \times 70$  jsou dvě díry pro stažení tyče, která bude našroubována do hlavy. Tyto otvory jsou nejprve vyvrtány vrtákem o  $\varnothing 12,5$  do hloubky 34 mm. Do hloubky 58 mm jsou vyvrtány vrtákem  $\varnothing 10,2$  mm, v těchto otvorech je poté vyřezán závit M12 do hloubky 54 mm.

Skrz tloušťku obrobku délky 90 mm je vyvrtána díra  $\varnothing 50$  mm. Ta je napřed předvrtána vrtákem na  $\varnothing 48$  mm a na  $\varnothing 50$  mm v příslušných tolerancích je dokončena vyvrtávací tyčí na dvě operace – hrubovací a dokončovací.

Nejdelší operací na obráběcím centru je vyfrézování drážky šířky 43 mm do hloubky 126,5 mm. Jelikož je potřeba odfrézovat velké množství materiálu, byly k tomuto účelu zvoleny rychlostní frézy, které jsou ve formě frézovacích hlav našroubované na stopkové upínáky, dvě jsou zvoleny z důvodu, že se jedná o frézování vysokými posuvy (HFC). Z tohoto důvodu je žádoucí, aby byla tuhost nástrojů co nejvyšší a proto se většina hloubky kapsy frézuje kratším stopkovým držákem o délce 70 mm. První rychlostní fréza s VBD o  $\varnothing 32$  mm od firmy Pramet Tools, s.r.o je pomocí závitů M16 našroubována na již zmíněný



stopkový držák o délce 70 mm a vyfrézuje drážku do hloubky 110 mm. Nyní musíme ještě použít další rychlostní frézu Ø32 mm, která dosáhne i do větší hloubky od již zmíněné firmy Pramet Tools s.r.o. a drážku vyfrézujeme do hloubky 125 mm. Jako poslední se pro dosažení přesnosti rozměrů drážky odfrézuje po každé straně 0,5 mm na rozměr 43 mm. Dno drážky se vyfrézuje na konečnou hloubku 126,5 mm pomocí rohové frézy Ø32.

Po dokončení obrábění na frézovacím centru se obrobek vyjme z přípravku, odjehlí se ostré hrany a přeměří přesnost rozměrů podle instrukčního listu. Celková doba obrábění je zde 32,12 min + 2 min na upnutí/vyjmutí z přípravku.



Obr. 23 - Obrobky po frézování + vrtání na DMU 60 monoBLOCK

Tab. 10 – Postup pro operaci frézování a vrtání na DMU 60

č.op.	popis operace		řezné podmínky		
	nástroj	t <sub>AS</sub> [min]	v <sub>c</sub> [m.min <sup>-1</sup> ]	n [min <sup>-1</sup> ]	v <sub>f</sub> [mm]
1	frézování drážky hloubka 15 mm, délka 70 mm				
	Rohová fréza Ø20	6,12	123,2	1600	100
2	vrtat díry pro závit M8				
	vrták Ø6,8	0,37	170,9	8000	1000
3	srazit hrany děr pro závit M8				
	srážecí fréza Ø12	0,45	45,2	1200	150
4	řezat závit M8				
	Závitník M8	0,62	15,1	600	15
5	vrtat díru Ø12,5 mm do hloubky 34 mm				
	vrták Ø12,5	0,53	188,5	4800	600
6	vrtat otvor pro závit M12 do hloubky 58 mm				

	vrták Ø10,2	0,52	179,5	5600	650
7	srazit hrany děr pro závit M12				
	srážecí fréza Ø16	0,42	50,3	1000	140
8	řezat závit M12 do hloubky 54 mm				
	závitník M12	0,75	20,1	400	15
9	vrtat díru Ø48				
	vrták Ø48	1,22	181	1200	120
10	hrubovat díru Ø50				
	vyvrtávací tyč- hrubovací Ø49,5	0,68	186,6	1200	280
11	dokončovací operace díry Ø50				
	vyvrtávací tyč- dokončovací Ø50	1,22	188,5	1200	120
12	frézovat drážku šířky 43 mm do hloubky 110 mm				
	rychlostní fréza Ø32	8,1	245	2437	11575
13	frézovat drážku šířky 43 mm do hloubky 126,5 mm				
	rychlostní fréza Ø32	3,35	150	1492	3580
14	frézování dna drážky				
	Rohová fréza Ø32	2,02			
15	dokončovací operace drážky šířky 43 mm				
	válcová fréza Ø25	5,77	70	891	187
16	Upnutí/odepnutí obrobku				
	Ruční manipulace	2			

Tab. 11 - Parametry frézovacího centra DMU 60monoBLOCK.

parametry	hodnota
posuv v ose X	730 mm
posuv v ose Y	560 mm
posuv v ose Z	560 mm
max. otáčky	12000 min <sup>-1</sup>
výkon motoru(40%/100% zatížení)	15/10 kW
max. krouticí moment (40%/100% zatížení)	130/87 N.m
rozměr stolu	1000x600 mm
max. hmotnost obrobku	500 kg
počet poloh (nástrojů)	24
rozměry stroje	3,5x3,5x2,5 m

hmotnost stroje	8000 kg
-----------------	---------



Obr. 24 - Frézovací centrum DMU 60monoBLOCK

## 2.7 Frézování drážky a expedice

Jako poslední výrobní operace celého procesu je frézování drážky 4x60 mm. Pro tuto operaci je určená univerzální konzolová frézka FGS 50/63. Po vyfrézování drážky je samozřejmě nutná její rozměrová kontrola, odjehlení a očištění výrobku.

Poslední věcí celé výroby je konzervování a balení na EURO palety dle firemního předpisu a následná expedice k zákazníkovi.

### 3 Návrh na racionalizaci výroby

Ve firmě Unex a.s. je samozřejmě jako v každé jiné firmě hlavním cílem tvořit zisk. Z tohoto důvodu je tlak na stálé zlepšování výrobních procesů, jejich efektivity, snižování strojních časů a tím dosažení nižších nákladů a vyšších zisků. To vedlo k zamyšlení i v tomto případě, jelikož se tato součást vyrábí ve stovkách kusů ročně. Racionalizace se zaměřila na frézování a vrtání na obráběcím centru DMU 60monoBLOCK. U některých operací došlo ke změně řezných parametrů, zrušení či nahrazení celých operací, změně nástrojů atd. Největší pozornost byla věnována hrubování drážky šířky 43 mm do hloubky 110 mm uvedené v Tab. 10 – operace 12.

#### 3.1 Volba frézovací hlavy a výměna břitových destiček

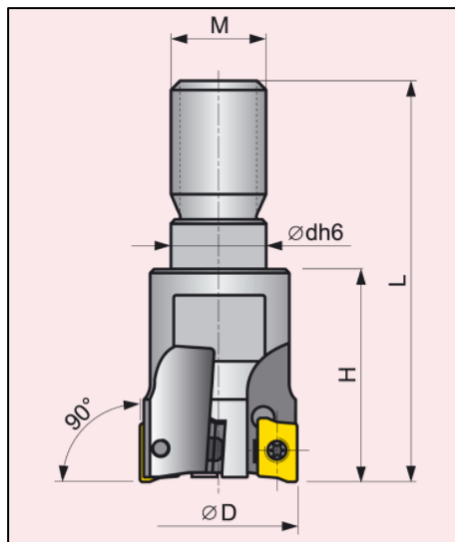
Podle tabulky 9 spotřebuje nejvíce strojního času operace č. 12. Konkrétně 8,1 minuty. Stávající frézování se provádělo frézovací hlavou pro rohové frézování od firmy Pramet Tools, s.r.o - 32A5R043M16-SAD11E-C.

Tato aplikace pro frézování hluboké drážky byla na základě zkušeností z výroby vyhodnocena jako špatná a neekonomická a došlo ke zkouškám dalších dvou rohových frézovacích hlav pro HFC, u každé byly vyzkoušeny nové VBD ze slinutých karbidů doporučené výrobcem k příslušným frézám.

Testování se realizovalo při reálné výrobě součásti, kterou se zabývá tato bakalářská práce. Vhodnější by samozřejmě byly normalizované zkoušky trvanlivosti, ale na to ve firmě Unex a.s. nebyl prostor z časových důvodů, plného vytížení stroje, který pracuje v nepřetržitém provozu i chybějící zázemí pro takto přesné měření jako je třeba mikroskop pro vyhodnocení opotřebení. Testování proběhla při konstantní hloubce řezu  $a_p = 0,6$  mm. Podle řezných podmínek, které do doručuje výrobce a na základě zkušeností programátora a seřizovače CNC strojů bylo nastaveno  $v_c$  a  $f_z$ . Jako kritérium pro vyhodnocení byla zvolena trvanlivost VBD. Zaznamenával a vyhodnocoval se počet vyrobených kusů výrobku na 1 řeznou hranu.

### 3.1.1 Řešení Pramet Tools

Jedná se o původní použití, které je popsána v úvodu této kapitoly 4.1. U této aplikace frézovací hlavy a VBD destiček docházelo k vysokému opotřebení. Už po 4 vyrobených kusech se musela destička otáčet na novou řeznou hranu.

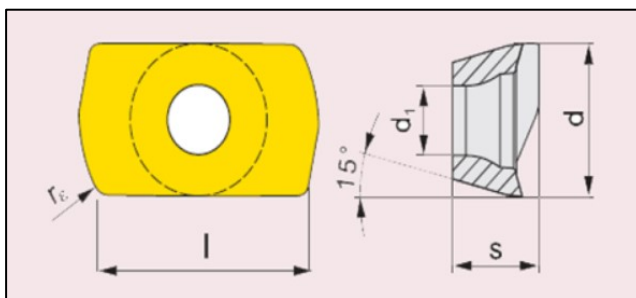


Obr. 25 - frézovací hlava 32A5R043M16-SAD11E-C [22]

Tab. 12 - specifikace frézovací hlavy 32A5R043M16-SAD11E-C [22]

Parametry frézovací hlavy 32A5R043M16-SAD11E-C											
parametr	D	L	H	M	dh6	Z	$\gamma_p$ [°]	$\gamma_f$ [°]	kr [°]	$a_{p_{max}}$	kg
hodnota	32	66	43	M16	17	5	+4 ÷ +11	-8,1 ÷ -12,8	90	9	0.1

Jako VBD byly použity destičky ze slinutého karbidu od již zmíněné firmy. Katalogové číslo je ADEX 11T308SR-HF. Jedná se o vysoce rychlostní frézování tzv. HFC. Proto je zde u VBD kladen důraz, kromě dobré oteřuvzdornosti a tvrdosti i na houževnatost, aby nedocházelo k odštěpování řezné hrany či úplného praskání VBD.



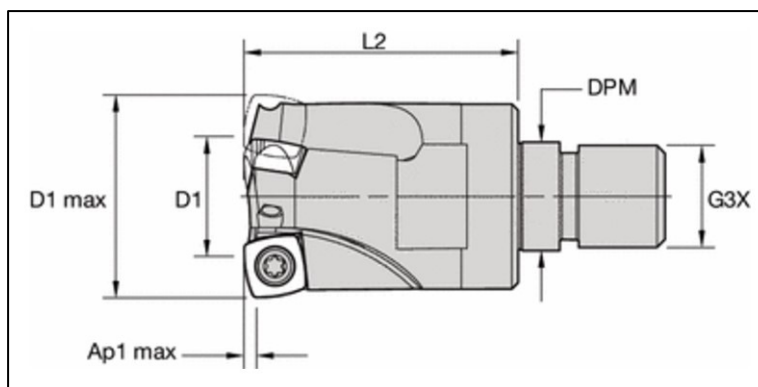
Obr. 26 - VBD ADEX 11T308SR-HF [23]

Tab. 13 - specifikace VBD ADEX 11T308SR-HF [23]

Parametry VBD: ADEX 11T308SR-HF									
parametr	l	d	s	d1	re	f min	f max	ap min	ap max
hodnota	11	6,35	3,97	2,9	0,8	0,6	1,3	0,2	0,6

### 3.1.2 Řešení Kennametal

Jako první byla otestována frézovací hlava s břitovými destičkami od firmy Kennametal. Konkrétně frézovací hlava s katalogový číslem 7792VXD09SA035Z3R43 a VBD XDPT090408ERD41.



Obr. 27 - frézovací hlava 7792VXD09SA035Z3R43 [24]

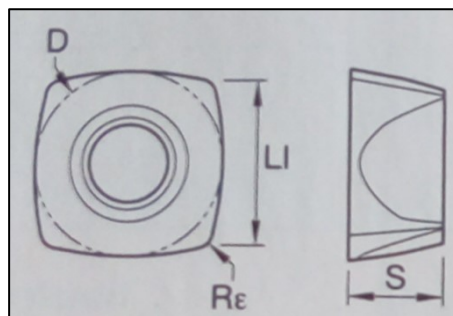
Tab. 14 - specifikace frézovací hlavy 7792VXD09SA035Z3R43 [24]

Parametry 7792VXD09SA035Z3R43							
parametr	D1 <sub>max</sub>	D1	L2	G3X	DPM	Ap1 <sub>max</sub>	Z
hodnota	35	22	43	M16	17	1,5	4

kde:

*Z - počet kusů VBD na frézovací hlavě.*

Opotřebení nastávalo poměrně předvídatelně, avšak docházelo k častému lomu břitu a několikrát i k totálnímu lomu, který může být nebezpečný, což se ukázalo i v tomto případě, kdy totální lom způsobil dokonce zničení celé frézovací hlavy. I přesto byly výsledky lepší než u původního frézování a na 1 řeznou hranu se vyrobilo 10 kusů.



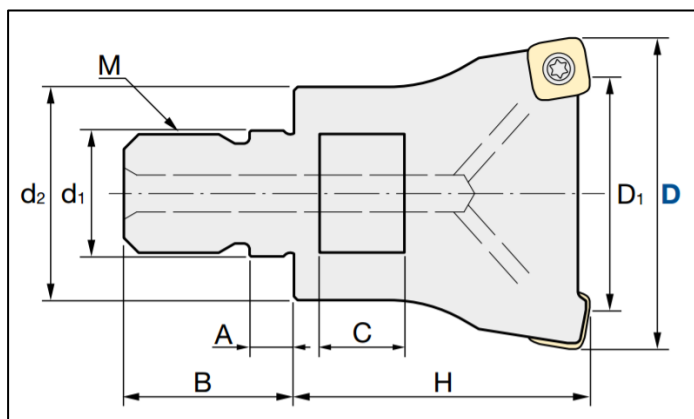
Obr. 28 - VBD XDPT090408ERD41 [25]

Tab. 15 - specifikace VBD XDPT090408ERD41 [25]

parametry VBD XDPT090408ERD41						
parametr	D	LI	S	R $\epsilon$	hm	RT
hodnota	9,53	9,53	4,76	0,8	0,05	2,01

### 3.1.3 Řešení Hitachi

Poslední zkoušená varianta byla od firmy Hitachi Power Tools Czech s.r.o. Tato firma je dceřinou pobočkou firmy Hitachi, která pochází z Japonska, kde se řadí k předtím výrobcům nástrojů a ve firmě Unex a.s. jsou s jejími nástroji velmi dobré zkušenosti. Katalogové číslo použité frézovací hlavy je ASRFM-3042R-5-M16 a VBD SPNW 07T2TR.

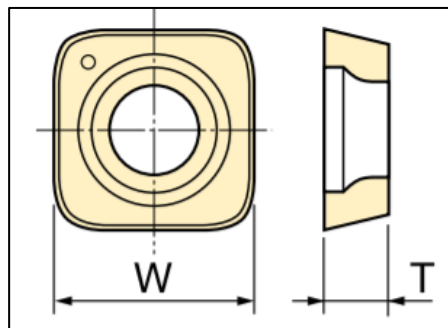


Obr. 29 - frézovací hlava ASRFM-3042R-5-M16 [26]

Tab. 16 - specifikace frézovací hlavy ASRFM-3042R-5-M16 [26]

parametry frézovací hlavy ASRFM-3042R-5-M16									
parametr	Z	D	H	D <sub>1</sub>	d <sub>1</sub>	M	d <sub>2</sub>	A	B
hodnota	5	42	40	30	17	M16	28,8	6	23

Toto použití se ukazuje jako nejvhodnější. VBD jsou rovnoměrně opotřebovávány, občas dochází k částečnému lomu řezné hrany, ale na 1 řeznou hranu se vyrobilo nejvíce kusů a to 16 ks/hranu. Jedinou nevýhodou, a to zcela zásadní, je vysoká pořizovací cena těchto destiček v porovnání s předchozími.



Obr. 30 - VBD SPNW 07T2TR [26]

tab. 17 – specifikace VBD SPNW 07T2TR

<b>W</b>	7,94 mm
<b>T</b>	2,78 mm

### 3.1.4 Vyhodnocení a výběr nejvhodnější aplikace.

K vyhodnocení výsledků testovaných nástrojů byly sestaveny níže uvedené vzorce (1, 2, 3) a výsledky vyhodnoceny. Tyto vzorce zahrnují výrobní režie i náklady na nástroje, a proto ukazují reálné náklady na vyfrézování drážky. Došlo se k závěru, že nejlépe vychází frézovací hlava od firmy Hitachi, ale drahé pořizovací náklady na VBD byly vyhodnoceny jako nevhodné. Proto byl realizován ještě jeden test, který byl kombinací frézovací hlavy Hitachi ASRFM-3042R-5-M16 a VBD od společnosti Kennametal XDPT090408ERD41. Při této kombinaci se na 1 řeznou hranu vyrobilo 13 kusů obrobků. Proto se toto řešení vyhodnotilo jako nejvhodnější.

$$N_S = \frac{\text{*sazba stroje*}}{60} \cdot \text{*strojní čas na 1 ks* [Kč]} \quad (1)$$

$$N_N = \frac{\text{*cena destičky*}}{\text{*počet řezných hran* \cdot \text{*trvanlivost na 1 hranu*}} \cdot \text{*počet VBD* [Kč]} \quad (2)$$

$$N_{CELK} = N_S + N_N \text{ [Kč]} \quad (3)$$

kde:

$N_S$  – náklady na strojní čas,

$N_N$  – náklady na nástroj,



$N_{CELK.}$  – celkové náklady na 1 ks.

Tab. 18 - souhrn nákladů na vyfrézování jedné drážky

Firma	Pramet	kennametal	hitachi	Kenametal + Hitachi
cena VBD [Kč]	185	230	370	230
počet řezných hran	2	4	4	4
počet VBD	5	4	5	5
trvanlivost/hranu [ks]	4	10	16	13
strojní čas/ks [min]	8	6,3	6	6
sazba stroje/hod [Kč]	987	987	987	987
NS [Kč/ks]	131,6	103,635	98,7	98,7
NN [Kč/ks]	115,625	23	28,90625	22,12
NCELK [Kč/ks]	247,2	126,6	127,6	120,8

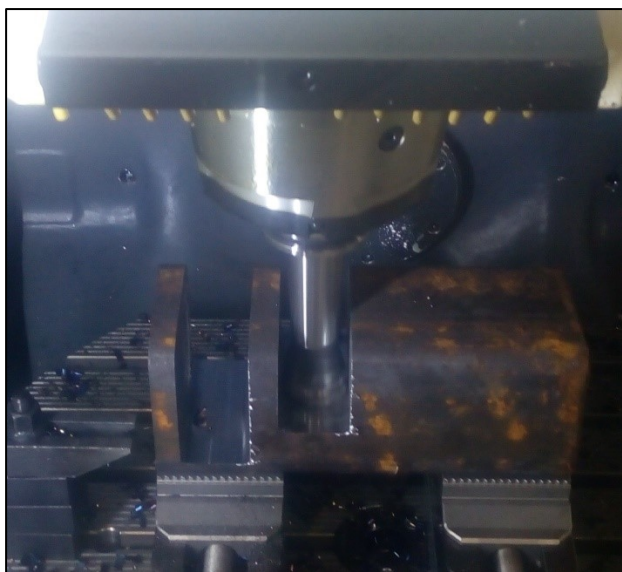
Ze souhrnné tabulky lze pozorovat, že kombinace VBD a frézovací hlavy od dvou firem vychází nejlépe. Oproti původnímu provedení od Pramet tools, kde byly celkové náklady na výrobu této drážky pro jeden obrobek 247,2 Kč, došlo ke zlevnění výroby na 120,8 Kč.

## 4 Experimentální činnost

Jako další byla pozornost optimalizace výroby soustředěna na volbu co nejvhodnějších řezných podmínek pro frézovací hlavu a VBD, které byly určeny v předchozí kapitole. Snahou bylo najít takové parametry, aby trvanlivost VBD byla, co nejdelší a zároveň bylo dosaženo co nejnižšího strojního času. Porovnávány byly 3 řezné rychlosti  $v_c$  z čehož u každé byly nastaveny 3 rozdílné posuvy na zub  $f_z$ .

### 4.1.1 Provedení experimentu

Testování a vyhodnocení bylo provedeno v souladu s normou ČSN ISO 8688-1. Bylo uskutečněno v laboratoři na Vysoké škole Báňské – Technické univerzitě Ostrava. Na základě doporučení v této normě nebyla použita žádná chladicí kapalina a frézování tedy bylo provedeno „za sucha.“ Dále bylo dle normy rozhodnuto, že na frézovací hlavě byla upnuta pouze jedna VBD. Nebylo stanoveno žádné kritérium opotřebení, ale byl stanoven počet přejezdů a množství odfrézovaného materiálu. Na jeden přejezd bylo odfrézováno 2,58 cm<sup>3</sup>. Abychom se, co nejvíce přiblížili skutečné výrobě drážky, řezy byly realizovány příčně skrze zkušební polotovar, a to vždy v délce 100 mm.



Obr. 31 - orientace řezu materiálem

U každé aplikace bylo realizováno vždy 50 přejezdů což znamená, že celkový odfrézovaný materiál byl 129 cm<sup>3</sup>. Po 10 přejezdech bylo frézování přerušeno a provedeno měření. Celkově se provedlo 9 testů se stejnou hloubkou záběru třísky  $a_p$ , jelikož tento parametr má na opotřebení destiček nejmenší vliv. Předmětem zkoušení tedy byly hlavně rozdílné  $v_c$  a  $f_z$ , jak ukazuje tabulka níže.

Tab. 19 - řezné podmínky u jednotlivých testů

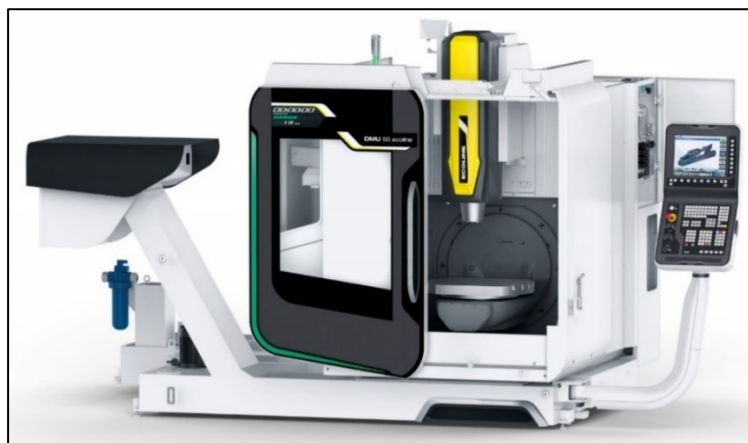
č. testu	$a_p$ [mm]	$v_c$ [m/min]	$f_z$ [mm]
test 1	0,6	250	0,5
test 2	0,6	250	1
test 3	0,6	250	1,5
test 4	0,6	300	0,5
test 5	0,6	300	1
test 6	0,6	300	1,5
test 7	0,6	350	0,5
test 8	0,6	350	1
test 9	0,6	350	1,5

#### 4.1.2 Obráběcí stroj

Experiment byl proveden na moderním 5-ti osém frézovacím centru DMG MORI DMU 50. Jedná se o univerzální CNC stroj s inovativní technologií konstrukce vyznačující se vysokou tuhostí a přesností obrábění.

Tab. 20 - Parametry stroje DMG MORI DMU 50

parametry	hodnota
posuv v ose X	500 mm
posuv v ose Y	450 mm
posuv v ose Z	400 mm
max. otáčky	18000 min <sup>-1</sup>
výkon motoru (40%/100% zatížení)	35/25 kW
max. krouticí moment (40%/100% zatížení)	130/87 N.m
rozměr stolu	630x500 mm
max. hmotnost obrobku	300 kg
počet poloh (nástrojů)	16
rozměry stroje	1,5x1,3x1,7 m
hmotnost stroje	4480 kg



Obr. 32 - DMG MORI DMU 50

#### 4.1.3 Nástrojový držák

Ke spojení frézovací hlavy s HSK-A upínáním ve stroji byl jako mezi článek použit držák pro frézy se závitovým koncem HSK.63A.IHA.M16.075. Frézovací hlava je na něj našroubována pomocí závitu M16. Délky stopky je 75 mm a celková délka bez části, která je upnuta ve stroji činí 101 mm. Stopka je ve tvaru kužele a průměr se mění od 29 mm po 34 mm. Tento typ držáku byl zvolen proto, jelikož je svou délkou a tvarem podobný s držákem, který je používán ve firmě.



Obr. 33 - držák se zašroubovanou frézovací hlavu

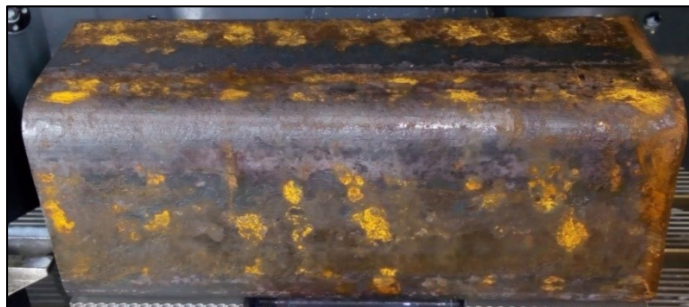
#### 4.1.4 Nástroj a materiál

Pro experimentální šetření byly použity VBD od firmy Kennametal. Jejich geometrie je popsána v kapitole 4.1.2.



Obr. 34 - testované VBD od firmy Kennametal

Použitá frézovací hlava byla firmy Hitachi. Její specifikace jsou uvedeny v kapitole 4.1.3. Jako materiál byla použita nelegovaná jakostní ocel S355J2. Jedná se, o stejný materiál jako je použit při skutečné výrobě, kterou se zabývá tato bakalářská práce. Jeho mechanické a fyzikální vlastnosti už jsou tedy zmíněny v kapitole 3.1. Byl dodán ve formě čtvercového polotovaru  $100 \times 100$  v délce 125 mm a celkové váze 10 kg.



Obr. 35 - Polotovar materiálu S355J2

#### 4.1.5 Hodnocení opotřebení

Vyhodnocení naměřených opotřebení bylo realizováno mikrometrickou metodou na čele a hřbetech destiček. Po vyjmutí z frézovacího centra byla destička umístěna do přípravku k měření a přímým měřením lineárních rozměrů vyhodnocena. Pro pořízení jednotlivých snímků byl použit binokulární stereomikroskop s digitální kamerou. Tato kamera umožnila přenos snímků do počítače, ve kterém bylo v programu Motic Images Plus 2.0 přesně změřeno opotřebení destiček.

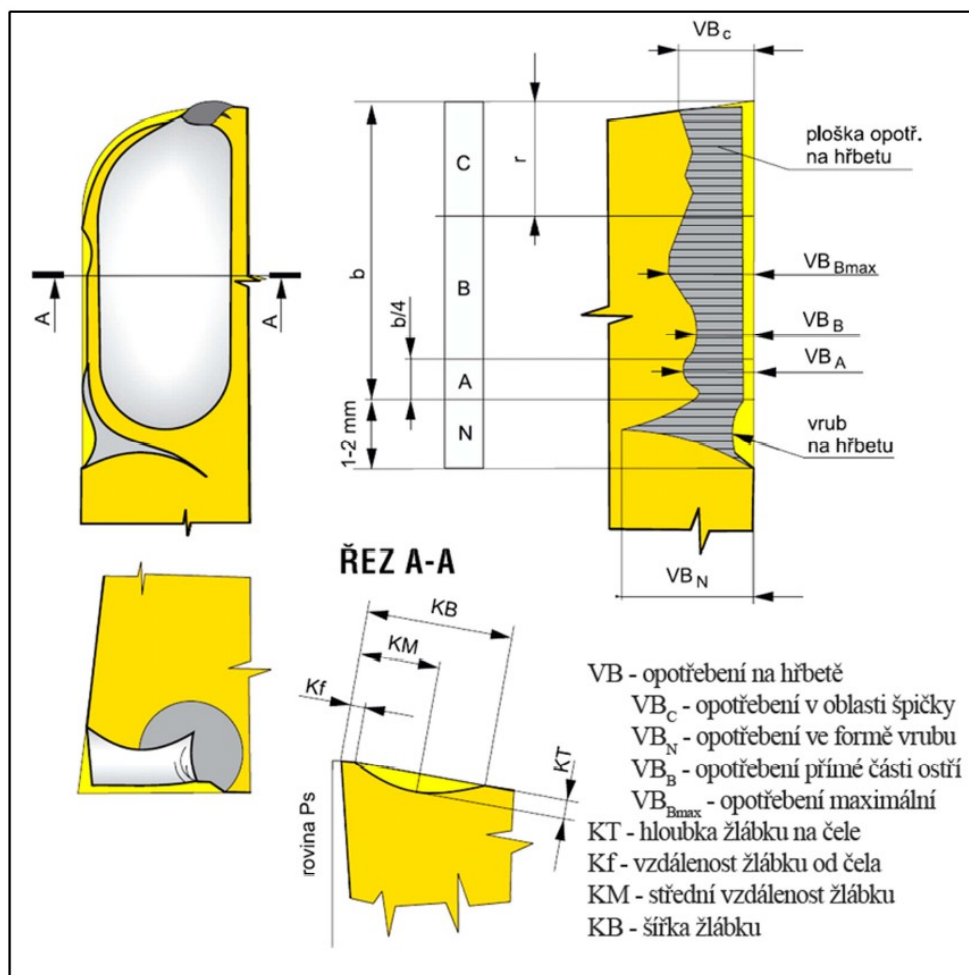


Obr. 36 - měření opotřebení VBD [27]

Správnost určení velikosti opotřebení udává norma ISO 3685. Tato norma obsahuje formy opotřebení a jejich charakteristiky. Měření opotřebení je rozděleno do 4 základních zón. Zóna C je poloměr ostří břitů, zóna B je přímá část ostří mezi oblastmi A a C. Oblast A

zobrazuje čtvrtinu délky nejvíce vzdálenou od radiusu nástroje a část N je mimo kontakt nástroje s obrobkem. [3]

V našem případě bylo měřeno průměrné opotřebení přímé části ostří  $VB_B$  na hlavní ploše hřbetu nástroje  $A\alpha$ . Pod mikroskopem bylo sledováno i opotřebení plochy čela  $A\gamma$  a plochy vedlejšího ostří  $A\alpha'$ . Vizuálně byla kontrolována drsnost obrobeného povrchu.

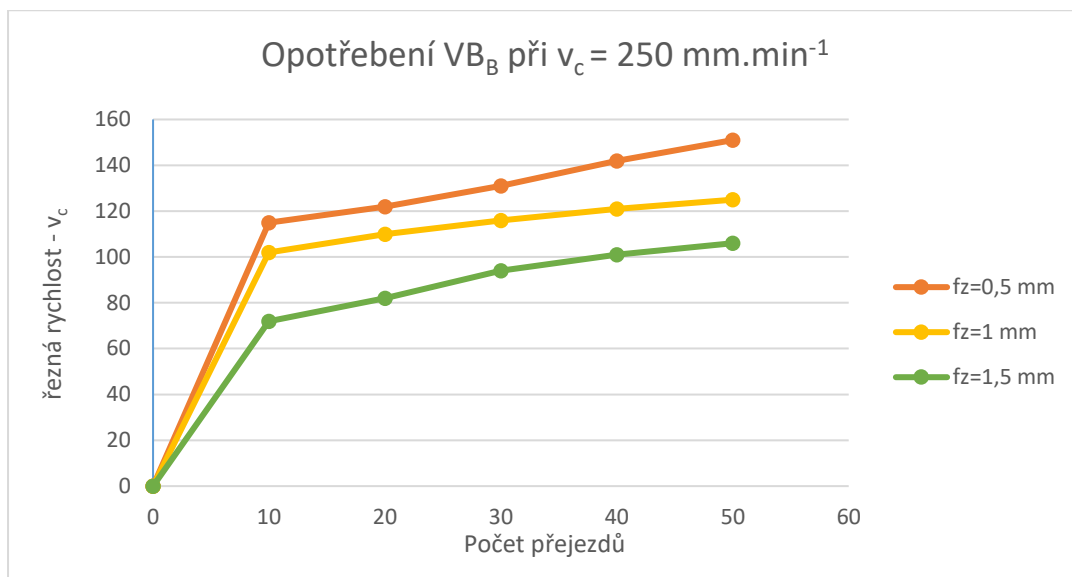


Obr. 37 - opotřebení dle normy ISO 3685 [27]

#### 4.1.6 Test č. 1

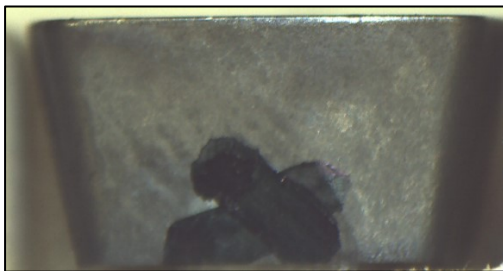
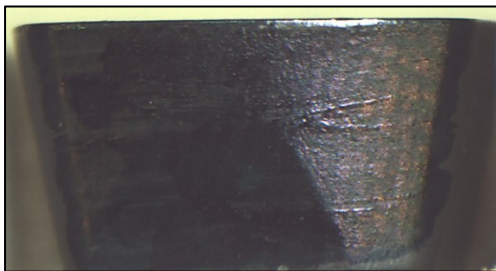


Jako první byly provedeny 3 pokusy a měření při řezné rychlosti  $250 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  a rozdílných  $f_z$ . Došlo se k zajímavým výsledkům. Opotřebení na ploše hlavního hřbetu s rostoucím  $f_z$  klesalo, nikoliv rostlo, jak by se dalo předpokládat. Podle vizuálního zhodnocení bylo opotřebení na ploše čela nejmenší u  $f_z = 1 \text{ mm}$ . Při  $f_z = 0,5 \text{ mm}$  a  $1 \text{ mm}$  dochází k připékání třísek v rohu materiálu a povrch je velice drsný a nevzhledný. Jako vyhovující je jen při  $f_z = 1,5 \text{ mm}$ .




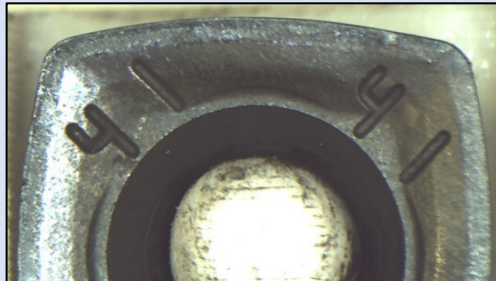

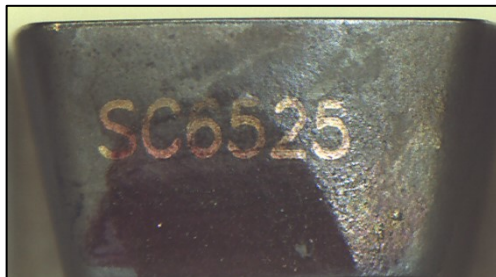

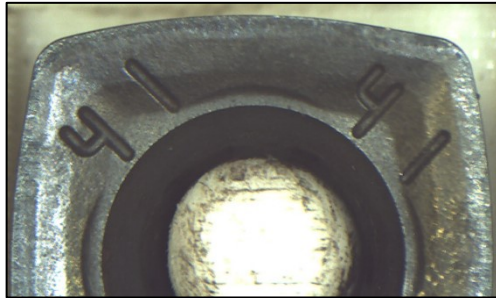




Graf 1 – Opotřebení při v<sub>c</sub> = 250 mm.min<sup>-1</sup>

Tab. 21 – výsledky testů při v<sub>c</sub> = 250 mm.min<sup>-1</sup>

Test č. 1: $a_p = 0,6 \text{ mm}$ ; $v_c = 250 \text{ m.min}^{-1}$ ; $f_z = 0,5 \text{ mm}$					
Plocha hlavního hřbetu A $\alpha$ 10 přejezdů			Plocha hlavního hřbetu A $\alpha$ 50 přejezdů		
$t_{AS} \text{ [s]}$	$Q \text{ [cm}^3\text{]}$	$VB_B \text{ [}\mu\text{m]}$	$t_{AS} \text{ [s]}$	$Q \text{ [cm}^3\text{]}$	$VB_B \text{ [}\mu\text{m]}$
80	25,8	115	400	129	151
					
Plocha čela A $\gamma$ – 10 přejezdů			Plocha čela A $\gamma$ – 50 přejezdů		
					
Test č. 2: $a_p = 0,6 \text{ mm}$ ; $v_c = 250 \text{ m.min}^{-1}$ ; $f_z = 1 \text{ mm}$					
Plocha hlavního hřbetu A $\alpha$ 10 přejezdů			Plocha hlavního hřbetu A $\alpha$ 50 přejezdů		
$t_{AS} \text{ [s]}$	$Q \text{ [cm}^3\text{]}$	$VB_B \text{ [}\mu\text{m]}$	$t_{AS} \text{ [s]}$	$Q \text{ [cm}^3\text{]}$	$VB_B \text{ [}\mu\text{m]}$
40	25,8	102	200	129	125

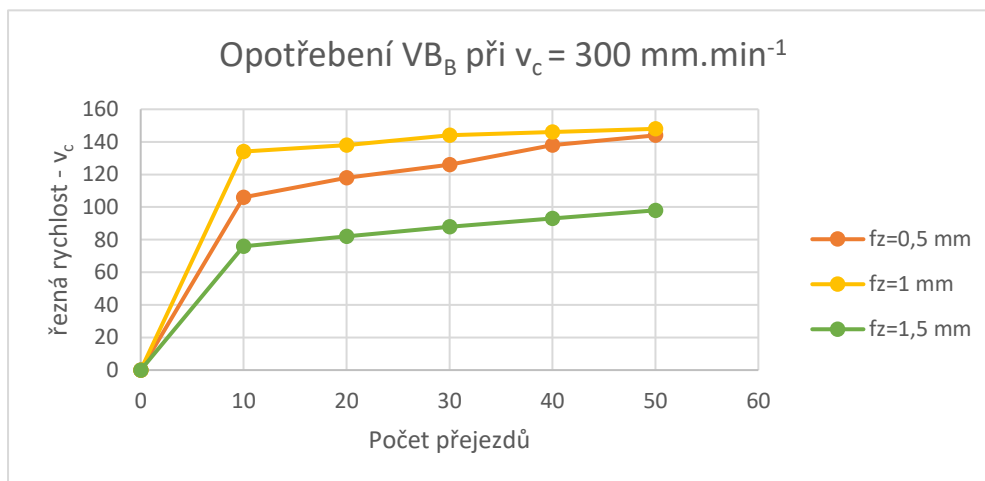
					
Plocha čela $A_\gamma$ – 10 přejezdů			Plocha čela $A_\gamma$ – 50 přejezdů		
					
Test č. 3: $a_p = 0,6$ mm; $v_c = 250$ m.min <sup>-1</sup> ; $f_z = 1,5$ mm					
Plocha hlavního hřbetu $A_\alpha$ – 10 přejezdů			Plocha hlavního hřbetu $A_\alpha$ – 50 přejezdů		
$t_{AS}$ [s]	$Q$ [cm <sup>3</sup> ]	$VB_B$ [μm]	$t_{AS}$ [s]	$Q$ [cm <sup>3</sup> ]	$VB_B$ [μm]
20	25,8	72	100	129	106
					
Plocha čela $A_\gamma$ – 10 přejezdů			Plocha čela $A_\gamma$ – 50 přejezdů		
					

#### 4.1.7 Test č. 2

Test číslo dva probíhal za použití řezné rychlosti  $v_c = 300$  m.min<sup>-1</sup>. Při této řezné rychlosti rovněž dochází k rovnoměrnému opotřebení na ploše hlavního hřbetu. Na ploše







čela se začíná mírně tvořit opotřebení ve tvaru žlábků. Při  $f_z = 0,5$  mm došlo na vedlejší ploše hřbetu k opotřebení ve tvaru vrubu. Nejlepší výsledky byly dosaženy při  $f_z = 1,5$  mm, jak z hlediska rychlosti opotřebovávání nástroje, tak z vizuální kontroly povrchu. Při  $f_z = 1$  mm byla tříska napěchována do stran drážky a připékána což měla za následek rychlejší opotřebení a nevyhovující povrch.



Graf č.2 – Opotřebení při  $v_c = 300 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$

Tab. 22 – výsledky testu při  $v_c = 300 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

<b>Test č. 1: <math>a_p = 0,6 \text{ mm}</math>; <math>v_c = 300 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}</math>; <math>f_z = 0,5 \text{ mm}</math></b>					
<b>Plocha hlavního hřbetu Aa 10 přejezdů</b>			<b>Plocha hlavního hřbetu Aa 50 přejezdů</b>		
$t_{AS} [\text{s}]$	$Q [\text{cm}^3]$	$VB_B [\mu\text{m}]$	$t_{AS} [\text{s}]$	$Q [\text{cm}^3]$	$VB_B [\mu\text{m}]$
60	25,8	106	300	129	144
					
<b>Plocha čela Aγ – 10 přejezdů</b>			<b>Plocha čela Aγ – 50 přejezdů</b>		
					

**Test č. 2:  $a_p = 0,6 \text{ mm}$ ;  $v_c = 300 \text{ m.min}^{-1}$ ;  $f_z = 1 \text{ mm}$**

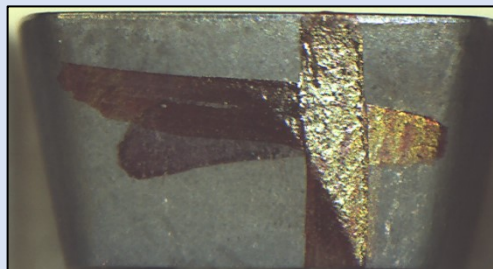
**Plocha hlavního hřbetu Aa  
10 přejezdů**

$t_{AS} [\text{s}]$	$Q [\text{cm}^3]$	$VB_B [\mu\text{m}]$
30	25,8	134

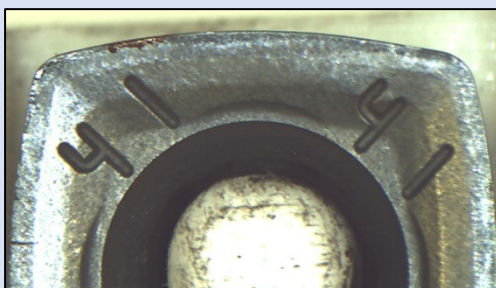


**Plocha hlavního hřbetu Aa  
50 přejezdů**

$t_{AS} [\text{s}]$	$Q [\text{cm}^3]$	$VB_B [\mu\text{m}]$
150	129	148



**Plocha čela Aγ – 10 přejezdů**



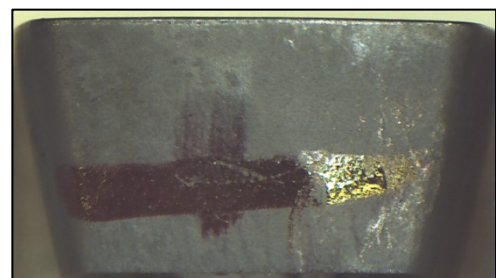
**Plocha čela Aγ – 50 přejezdů**



**Test č. 3:  $a_p = 0,6 \text{ mm}$ ;  $v_c = 300 \text{ m.min}^{-1}$ ;  $f_z = 1,5 \text{ mm}$**

**Plocha hlavního hřbetu Aa – 10  
přejezdů**

$t_{AS} [\text{s}]$	$Q [\text{cm}^3]$	$VB_B [\mu\text{m}]$
20	25,8	76



**Plocha hlavního hřbetu Aa – 50  
přejezdů**

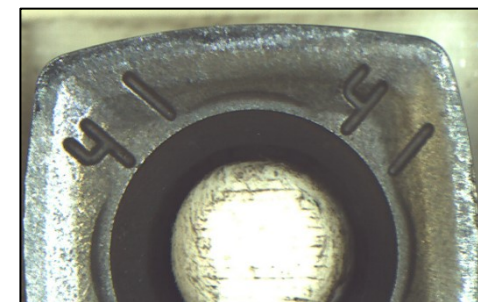
$t_{AS} [\text{s}]$	$Q [\text{cm}^3]$	$VB_B [\mu\text{m}]$
100	129	98



**Plocha čela Aγ – 10 přejezdů**

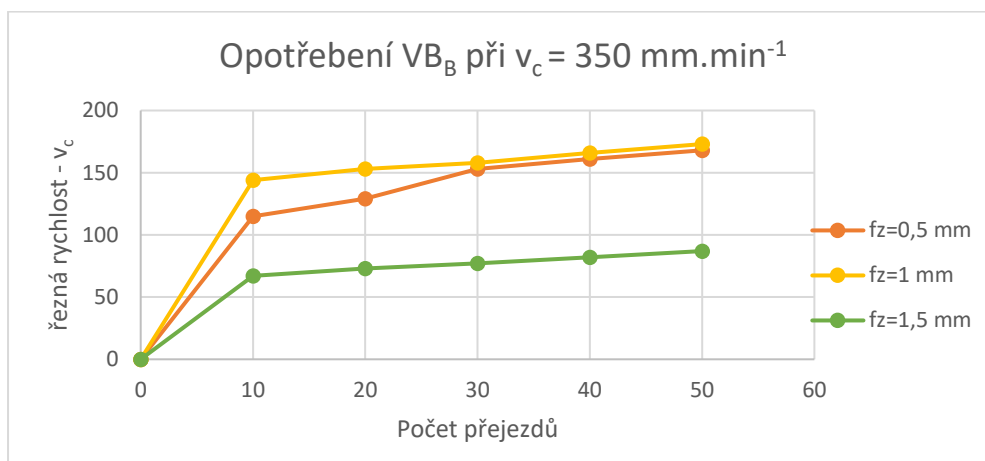


**Plocha čela Aγ – 50 přejezdů**



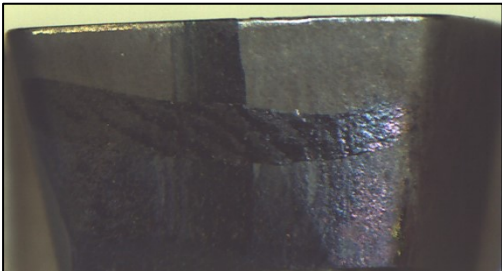

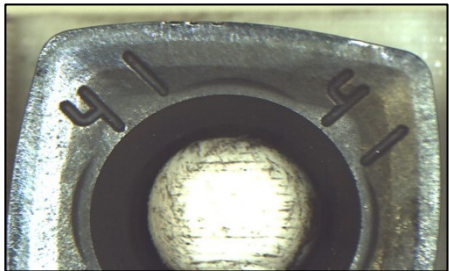
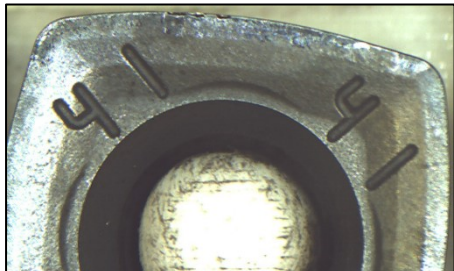
#### 4.1.8 Test č. 3

U nejvyšší testované řezné rychlosti ( $v_c = 350 \text{ m.min}^{-1}$ ) docházelo k nejviditelnějšímu vznikaní opotřebení ve tvaru žlábků na ploše čela. Také dochází k nejvyššímu opotřebení na hlavním hřbetě destičky. Avšak to neplatí pro  $f_z=1,5$ , kdy je dosaženo nejlepších výsledků opotřebení  $VB_B$  ze všech provedených měření. Nedochází zde jako u nižších posuvů k připékání třísek po stranách a jakost dosaženého povrchu je zde nejlepší.



graf č.3 – Opotřebení při  $v_c = 350 \text{ mm.min}^{-1}$

Tab. 23 – výsledky testu při  $v_c = 350 \text{ m.min}^{-1}$

Test č. 1: $a_p = 0,6 \text{ mm}$ ; $v_c = 350 \text{ m.min}^{-1}$ ; $f_z = 0,5 \text{ mm}$					
Plocha hlavního hřbetu Aa 10 přejezdů			Plocha hlavního hřbetu Aa 50 přejezdů		
$t_{AS} [\text{s}]$	$Q [\text{cm}^3]$	$VB_B [\mu\text{m}]$	$t_{AS} [\text{s}]$	$Q [\text{cm}^3]$	$VB_B [\mu\text{m}]$
50	25,8	115	250	129	168
					
Plocha čela Aγ – 10 přejezdů			Plocha čela Aγ – 50 přejezdů		
					



**Test č. 2:  $a_p = 0,6 \text{ mm}$ ;  $v_c = 350 \text{ m.min}^{-1}$ ;  $f_z = 1 \text{ mm}$**

**Plocha hlavního hřbetu A $\alpha$   
10 přejezdů**

$t_{AS} [\text{s}]$	$Q [\text{cm}^3]$	$VB_B [\mu\text{m}]$
25	25,8	144



**Plocha hlavního hřbetu A $\alpha$   
50 přejezdů**

$t_{AS} [\text{s}]$	$Q [\text{cm}^3]$	$VB_B [\mu\text{m}]$
125	129	173



**Plocha čela A $\gamma$  – 10 přejezdů**



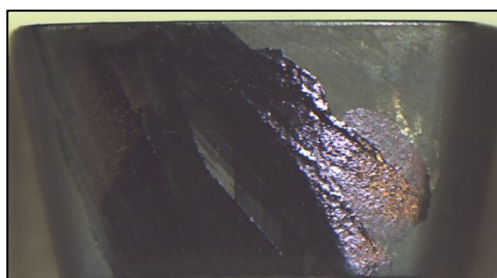
**Plocha čela A $\gamma$  – 50 přejezdů**



**Test č. 3:  $a_p = 0,6 \text{ mm}$ ;  $v_c = 350 \text{ m.min}^{-1}$ ;  $f_z = 1,5 \text{ mm}$**

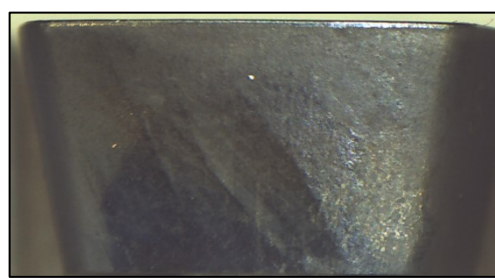
**Plocha hlavního hřbetu A $\alpha$  – 10 přejezdů**

$t_{AS} [\text{s}]$	$Q [\text{cm}^3]$	$VB_B [\mu\text{m}]$
19	25,8	67



**Plocha hlavního hřbetu A $\alpha$  – 50 přejezdů**

$t_{AS} [\text{s}]$	$Q [\text{cm}^3]$	$VB_B [\mu\text{m}]$
95	129	87



**Plocha čela A $\gamma$  – 10 přejezdů**



**Plocha čela A $\gamma$  – 50 přejezdů**



## 4.2 Racionalizace zbylých operací

U ostatních operací byly provedeny následující změny, které vedly ke snížení strojního času na frézovacím centru DMU 60monoBLOCK na 24,45 minut:

- Jako první operace bylo přidáno vrtání vrtákem o Ø24,5,
- rohová fréza u původní 1. operace o Ø20 byla nahrazena rohovou frézou Ø25,
- byla přidána monolitní fréza Ø16 pro konturu drážky,
- byl přehozen sled operací – nyní se první nevrtá díra a až potom frézuje drážka, ale naopak,
- rohová fréza Ø32 (operace 14) byla vyhodnocena jako zbytečná a zcela vyřazena,
- zrychlení dokončovací operace drážky válcovou frézou Ø25.

## 5 Technicko-ekonomické zhodnocení

Na základě testování byl pro výrobu drážky posuv  $f_z = 1$  mm vyhodnocen jako zcela nevyhovující. Lépe vycházelo  $f_z = 0,5$  mm a především  $f_z = 1,5$  mm. Při tomto nejvyšším testovaném posuvu na zub je také vhodné použít co nejvyšší řeznou rychlost. Tyto výsledky jsou nejspíše způsobené tím, že při této břitové destičce je při  $f_z = 1$  mm obráběno fazetkou, čímž se zhoršil odvod třísky, drsnost povrchu a tím i trvanlivost destičky. Z tohoto důvodu byly zvoleny řezné podmínky uvedené v tabulce 19 s novým technologickým postupem v operaci 11 s  $f_z = 1,24$  mm. Celkový čas obrábění po aplikaci všech uvedených úprav je  $22,45 + 2$  minuty na upnutí/odepnutí obrobku.

Tab. 24 - Nový technologický postup výroby

č.op.	popis operace		řezné podmínky		
	nástroj	$t_{AS}$ [min]	$v_c$ [m.min <sup>-1</sup> ]	$n$ [min <sup>-1</sup> ]	$v_f$ [mm]
1	frézování (hrubování) rádiusu drážky hl. 15 mm, délka 70 mm				
	vrták Ø24,5	1	123,15	1600	100
2	frézovat drážku do hloubky 15 mm, délky 70 mm				
	rohová fréza Ø25	2	90,48	1800	250
3	kontura drážky				
	monolitní fréza Ø16	0,95		1400	200
4	vrtat díry pro závit M8				
	vrták Ø6,8	0,37	170,90	8000	1000
5	srazit hrany děr pro závit M8				
	srážecí Ø12	0,45	45,24	1200	150
6	řezat závit M8				
	Závitník M8	0,62	15,08	600	15
7	vrtat díru Ø12,5 mm do hloubky 34 mm				
	vrták Ø12,5	0,53	188,50	4800	600
8	vrtat otvor pro závit M12				
	vrták Ø10,2	0,52	179,45	5600	650
9	srazit hrany děr pro závit M12				
	srážecí fréza Ø16	0,42	50,27	1000	140
10	řezat závit M12				
	závitník M12	0,75	20,11	400	15
11	frézovat drážku šířky 43 mm do hloubky 110 mm				
	rychlostní fréza Ø42	5,3	321,55	2437	15150
12	frézovat drážku šířky 43 mm do hloubky 126,5 mm				

	rychlostní fréza Ø32	3,1	164,07	1632	3580
<b>13</b>	vrtat díru Ø48				
	vrták Ø48	1,22	180,96	1200	120
<b>14</b>	hrubovat díru Ø50				
	vyvrtávací tyč- hrubovací Ø49,5	0,68	186,61	1200	280
<b>15</b>	dokončovací operace díry Ø50				
	vyvrtávací tyč- dokončovací Ø50	1,22	188,50	1200	120
<b>16</b>	dokončovací operace drážky šířky 43 mm				
	válcová fréza Ø25	3,33	74,61	950	187
<b>17</b>	upnutí/odepnutí obrobku				
	ruční manipulace	2			

### 5.1 Ekonomické zhodnocení výroby drážky

Pro celkové ekonomické výpočty byly použity stejné vzorce (1, 2, 3) jako pro výpočet v kapitole 4.1.4:

Tab. 25 - Souhrnné náklady na frézování drážky

aplikace	původní	nová
cena VBD [Kč]	185	230
počet řezných hran	2	4
počet VBD	5	5
trvanlivost na hranu [ks]	4	13
strojní čas[min/ks]	8	5,3
sazba stroje [Kč/hod]	987	987
N <sub>S</sub> [Kč/ks]	131,6	87,2
N <sub>N</sub> [Kč/ks]	115,6	22,1
N <sub>CELK</sub> [Kč/ks]	247,2	109,3
<b>ušetřeno na 1 kus [Kč]</b>	<b>137,9</b>	
<b>ušetřeno na 100 kusů [Kč]</b>	<b>13792,5</b>	

### 5.2 Celkové ekonomické zhodnocení optimalizace výroby

Celkové zhodnocení bude provedeno pouze na základě výpočtu strojního času. Nebudou zde tedy započítány náklady na nástroje. Jedná se tedy pouze o peníze, které se ušetřili díky úspoře strojního času. Sazba obráběcího centra je 987 Kč/hod.

Tab. 26: úspora vlivem snížení strojního času

<b>aplikace</b>	<b>původní</b>	<b>nová</b>
<b>čas obrábění [min/kus]</b>	34,12	24,45
<b>sazba [Kč]</b>	987	987
<b>NS [Kč/kus]</b>	561,3	402,2
<b>úspora na 1 kus [Kč]</b>	<b>159,1</b>	
<b>úspora na 100 kusů [Kč]</b>	<b>15907,2</b>	



## Závěr

Bakalářská práce se zabývala optimalizací výroby na CNC řízeném frézovacím centru. Po provedení úvodní analýzy byla největší pozornost zaměřena na frézování drážky, protože tato operace z celkového výrobního času 34,12 minut zabírala 8,1 minuty a náklady na nástroje se zde zdály značně neefektivní. Tato operace byla původně osazena nástroji od firmy Pramet Tools s.r.o. Přesněji šlo o frézovací hlavu s katalogový číslem 7792VXD09SA035Z3R43 a výměnné břitové destičky XDPT090408ERD41. Pro nahrazení optimálnějšími nástroji byl přímo v provozu proveden test pro 3 frézovací hlavy a 3 VBD od 3 různých výrobců a byla vyzkoušena jejich trvanlivost na základě toho kolik vyrobí kusů. Nejlépe v tomto ohledu dopadla kombinace frézovací hlavy od firmy Hitachi Power Tools Czech s.r.o. ASRFM-3042R-5-M16 a VBD od Kennametal XDPT090408ERD4. Při této kombinaci na 1 řeznou hranu bylo vyrobeno 13 kusů.

Další fáze této práce se zaměřila na optimalizaci řezných podmínek u frézování již zmíněné drážky. Experimentální test proběhl v laboratoři na půdě Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava. Pro experiment byl použit stejný materiál jako vyráběná součást. Jedná se o nelegovanou jakostní ocel S355J2. Ta byla dodána ve formě čtvercového polotovaru 100x100 v délce 125 mm. Testování bylo provedeno na dostatečně tuhém stroji DMG MORI DMU 50. Frézovací hlava byla ke stroji upnuta pomocí stopkového upínáku HSK.63A.IHA.M16.075. Samotný experiment proběhnul při třech rozdílných řezných rychlostech ( $v_c = 250; 300; 350 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ ) vždy v kombinaci se 3 různými posuvy na zub ( $f_z = 0,5; 1; 1,5$ ) mm. Hloubka záběru třísky  $a_p$  byla vždy stejná a to 0,6 mm. Testování se provedlo bez použití řezné kapaliny. Provedeno bylo vždy 50 přejezdů po 100 mm. Kritérium opotřebení nebylo stanoveno. Po každých deseti přejezdech se frézování zastavilo a změřilo se opotřebení. Na 1 přejezd bylo odfrézováno  $2,58 \text{ cm}^3$  oceli.

Jednotlivé snímky opotřebení byly nafoceny binokulárním stereomikroskopem s digitální kamerou. V programu MotiC Images 2.0. ML bylo přímou lineární metodou odměřeno průměrné opotřebení na ploše hlavního hřbetu  $A\gamma - VB_B$ . Dále byla vizuálně sledována plocha čela  $A\alpha$  a vedlejšího ostří  $A\gamma'$  a jakost obrobené plochy. Naměřené výsledky byly zpracovány do přehledných grafů a tabulek a bylo zjištěno, že nevyhovující nastavená hodnota posuvu je  $f_z = 1 \text{ mm}$ , protože u tohoto posuvu na zub dochází k záběru fazetkou a špatné tvorbě třísky, což má za následek špatný povrch obrobené plochy a trvanlivost nástroje. Jako nejlepší nastavení se ukázalo  $v_c = 350 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$  a  $f_z = 1,5 \text{ mm}$ .

Dále došlo v technologickém postupu k odstranění některých operací, přidání nových, změně drah jejich nástrojů či řezných podmínek. Konkrétně u frézování drážky došlo ke zlepšení času z 8,1 na 5,3 minut. To vedlo k úspoře výrobních nákladů na hrubování drážky včetně VBD na 1 kus ve výši 137,9 Kč. Celkový výrobní čas se zmenšil z 34,12 na 24,45 minut. Tato optimalizace vedla ke snížení nákladů na strojní čas ve výši 159,1 Kč/kus.

Proces racionalizace výroby ovšem není zdaleka u konce. Ve strojírenské výrobě je stále prostor pro zlepšení. V tomto konkrétním případě by se mohli dále vyzkoušet VBD s jinou geometrií. Jelikož se při nižších  $v_c$  a  $f_z$  materiál pění a připaluje v rozích, bylo by vhodné vyzkoušet VBD destičky, které by neměly kladnou geometrii, ale zápornou. To by mohlo vést ke zlepšení odvodu třísky a díky tomu zlepšení i celého frézování a trvanlivosti destiček. Další návrh, který plyne z bakalářské práce je racionalizace operace vrtání díry Ø 50 mm, a to zvýšením posuvu.

## Použité zdroje

- [1] BRYCHTA, Josef, Robert ČEP, Jana NOVÁKOVÁ a Lenka PETŘKOVSKÁ. *Technologie II*. 2. díl. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1822-1.
- [2] KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-3068-0.
- [3] BRYCHTA, Josef, Robert ČEP, Jana NOVÁKOVÁ a Lenka PETŘKOVSKÁ. *Technologie II*. 1. díl. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1641-8.
- [4] HUMÁR, Anton. *Technologie obrábění – 1. část*. Část Studijní opory pro magisterskou formu studia.
- [5] *Digitovárna.cz: Ekonomika výroby a celková optimalizace* [online]. **2013** [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.digitovarna.cz/clanek-84/prirucka-pro-technologie-ekonomika-vyroby-a-celkova-optimalizace-1-cast.html>
- [6] *VILTRALAB: Příručka CNC programování* [online]. **2009** [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: [http://www.sjf.tuke.sk/vitralab/upload/CNC%20prirucka\\_CZ.pdf](http://www.sjf.tuke.sk/vitralab/upload/CNC%20prirucka_CZ.pdf)
- [7] ŠINCL, P. *Návrh nové technologie výroby kloubů tlakového nátoku*. Ostrava: Katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2013. 93s.
- [8] SADÍLEK, Marek. *Obrábění I: výběr přednášek*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2015. ISBN 978-80-248-3857-1.
- [9] *M.L. Geardesigns blog: Nulové a další vztažné body* [online]. **2013** [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://mlgeardesigns.blog.cz/1312/nulove-a-dalsi-vztazne-body>
- [10] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.
- [11] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
- [12] POMYKACZ, A. *Racionalizace výroby žebrové podkladnice v podmínkách firmy Třinecké železářny, a.s.* Ostrava, 2015. Diplomová práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění a montáže.

- [13] TOREX CZ s.r.o. In: *VBD* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.nastrojetorex.cz/vbd>
- [14] Bohdan Bolzano: Přehled vlastností oceli. *Bolzano.cz* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/nelegovane-konstrukcni-oceli-podle-en-10025/prehled-vlastnosti-oceli-s355j2drive-s355j2g3>
- [15] Pramet Tools s.r.o.: Frézování. *Ecat.pramet.cz* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://ecat.pramet.com/img/PICTURES/Milling/Main/Dim/SAD11E-copy.PNG>
- [16] Pramet Tools s.r.o.: Frézování. *Ecat.pramet.cz* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: [http://ecat.pramet.com/img/PICTURES/Milling/VBD\\_Chip/Geo%20\(PDF\)/Czech/ADEF-HF.pdf](http://ecat.pramet.com/img/PICTURES/Milling/VBD_Chip/Geo%20(PDF)/Czech/ADEF-HF.pdf)
- [17] Kennametal: Milling. *Kennametal.com* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <https://www.kennametal.com/en/products/20478624/57493250/556247/46066319/100048407/100048410/100048412/100035160.html>
- [18] Kennametal: Milling. *Kennametal.com* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://catalogs.kennametal.com/app.php?RelId=6.7.0.9.12>
- [19] MMC Hitachi Tool. *Mmc.hitachitool-eu.com* [online]. [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.mmc-hitachitool-eu.com/download/brochures/view/asrf-mini.pdf>
- [20] HAJNYŠ, J. *Obrábění těžkoobrobitelných materiálů*: Diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2015, 85s.

## **Seznam příloh**

**Příloha č.1** Výkresová dokumentace finální podoby výrobku.

**Příloha č.2** Výkresová dokumentace výkovku.

### **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Hajnyšovi za jeho cenné rady a pomoc s vypracováním. Dále bych chtěl také poděkovat Ing. Tomášovi Zlámalovi, Ph.D. za umožnění experimentální části práce. A na závěr můj dík samozřejmě patří mému vedoucímu ve firmě UNEX a.s. panu Ing. Pavlu Janečkovi a kolegovi Michalu Kaprálovi.